

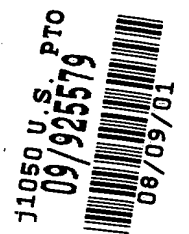
EXPRESS MAIL NO. EL 746 760 452 US

DATE OF DEPOSIT 8/9/01

Our File No. 9281-4140  
Client Reference No. CK US00016

**IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE**

In re Application of: )  
Akira Nakano et al. )  
Serial No. To Be Assigned )  
Filing Date: Herewith )  
For: Plasma Processing Apparatus and )  
System, Performance Validation System )  
and Inspection Method Therefor )



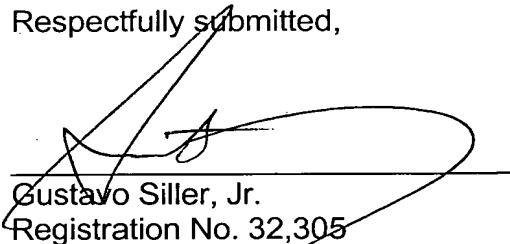
**SUBMISSION OF CERTIFIED COPIES OF PRIORITY DOCUMENTS**

Commissioner for Patents  
Washington, D.C. 20231

Dear Sir:

Transmitted herewith are certified copies of priority documents Japanese Patent Application Nos. 2000-245347, filed August 11, 2000, and 2000-289488, filed September 22, 2000 for the above-named U.S. application.

Respectfully submitted,

  
Gustavo Siller, Jr.  
Registration No. 32,305  
Attorney for Applicants

BRINKS HOFER GILSON & LIONE  
P.O. BOX 10395  
CHICAGO, ILLINOIS 60610  
(312) 321-4200

日 本 国 特 許 庁

JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出 願 年 月 日

Date of Application:

2000年 8月11日

出 願 番 号

Application Number:

特願2000-245347

出 願 人

Applicant(s):

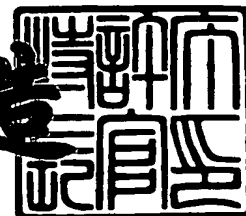
アルプス電気株式会社  
大見 忠弘



2001年 6月 4日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

及川耕造



出証番号 出証特2001-3051949

【書類名】 特許願

【整理番号】 J83797A1

【提出日】 平成12年 8月11日

【あて先】 特許庁長官 殿

【国際特許分類】 H01L 21/203  
H01L 21/205

【発明の名称】 プラズマ処理装置およびプラズマ処理装置の性能確認システム

【請求項の数】 12

【発明者】

【住所又は居所】 東京都大田区雪谷大塚町 1 番 7 号 アルプス電気株式会社  
社内

【氏名】 仲野 陽

【発明者】

【住所又は居所】 宮城県仙台市青葉区米ヶ袋 2 - 1 - 1 7 - 3 0 1

【氏名】 大見 忠弘

【特許出願人】

【識別番号】 000010098

【氏名又は名称】 アルプス電気株式会社

【特許出願人】

【識別番号】 000205041

【氏名又は名称】 大見 忠弘

【代理人】

【識別番号】 100064908

【弁理士】

【氏名又は名称】 志賀 正武

【選任した代理人】

【識別番号】 100108578

【弁理士】

【氏名又は名称】 高橋 詔男

【選任した代理人】

【識別番号】 100089037

【弁理士】

【氏名又は名称】 渡邊 隆

【選任した代理人】

【識別番号】 100101465

【弁理士】

【氏名又は名称】 青山 正和

【選任した代理人】

【識別番号】 100094400

【弁理士】

【氏名又は名称】 鈴木 三義

【選任した代理人】

【識別番号】 100107836

【弁理士】

【氏名又は名称】 西 和哉

【選任した代理人】

【識別番号】 100108453

【弁理士】

【氏名又は名称】 村山 靖彦

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 008707

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9704956

特 2 0 0 0 - 2 4 5 3 4 7

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 プラズマ処理装置およびプラズマ処理装置の性能確認システム

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 プラズマを励起するための電極を有するプラズマ処理室と

この電極に高周波電力を供給するための高周波電源と、

入力端と出力端とを有し該入力端に前記高周波電源を接続するとともに前記電極に接続した高周波電力配電体を前記出力端に接続することにより前記プラズマ処理室と前記高周波電源とのインピーダンス整合を得る整合回路と、

を具備し、

前記高周波電力を供給する際に整合回路の出力端に接続される前記高周波電力配電体の端部で測定した前記プラズマ処理室の第 1 直列共振周波数  $f_0$  の 3 倍が、前記高周波電力の電力周波数  $f_e$  より大きな値の範囲に設定されてなることを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項 2】 前記第 1 直列共振周波数  $f_0$  の 1. 3 倍が、前記電力周波数  $f_e$  より大きな値の範囲に設定されてなることを特徴とする請求項 1 記載のプラズマ処理装置。

【請求項 3】 前記第 1 直列共振周波数  $f_0$  が、前記電力周波数  $f_e$  の 3 倍より大きな値の範囲に設定されてなることを特徴とする請求項 2 記載のプラズマ処理装置。

【請求項 4】 前記電極と、該電極と協働してプラズマを発生する対向電極との容量によって規定される直列共振周波数  $f_0'$  が、前記電力周波数  $f_e$  の 3 倍より大きな値の範囲に設定されてなることを特徴とする請求項 3 記載のプラズマ処理装置。

【請求項 5】 前記プラズマを励起するための電極が平行平板型とされ、該電極と前記対向電極との間の距離を  $d$  とし、この電極間の距離方向においてそれぞれの電極と発光時のプラズマとの距離の和を  $\delta$  としたときに、前記直列共振周波数  $f_0'$  と前記電力周波数  $f_e$  とが、

【数 1】

$$f_0' > \sqrt{\frac{d}{\delta}} f_e \quad \dots (1)$$

なる関係を満たしてなることを特徴とする請求項 4 記載のプラズマ処理装置。

【請求項 6】 前記高周波電力配電体端部近傍に、前記プラズマ処理室の共振周波数を測定する共振周波数測定用端子が設けられることを特徴とする請求項 1 記載のプラズマ処理装置。

【請求項 7】 前記高周波電力配電体端部と前記共振周波数測定用端子との間に、

プラズマを励起する際には前記配電体端部と前記測定用端子との電氣的接続を切るとともに前記配電体端部と前記整合回路の出力端との電氣的接続を確保し、かつ、前記プラズマ処理室の共振周波数を測定する際には前記配電体端部と前記測定用端子との電氣的接続を確保するとともに前記配電体と前記整合回路の出力端との電氣的接続を切断する切り替えスイッチが設けられることを特徴とする請求項 6 記載のプラズマ処理装置。

【請求項 8】 前記共振周波数測定用端子に、共振周波数測定器が着脱自在に接続されてなることを特徴とする請求項 6 または 7 記載のプラズマ処理装置。

【請求項 9】 前記スイッチにより、前記高周波配電体端部と前記共振周波数測定用端子との電氣的接続を切るとともに前記配電体端部と前記整合回路の出力端との電氣的接続を確保した場合における前記整合回路の出力端位置で測定する共振周波数特性と、

前記スイッチにより、前記配電体端部と前記測定用端子との電氣的接続を確保するとともに前記配電体と前記整合回路の出力端との電氣的接続を切断した場合における前記共振周波数測定用端子で測定した共振周波数特性と、が等しく設定されてなることを特徴とする請求項 8 記載のプラズマ処理装置。

【請求項 10】 購入発注者が販売保守者に発注した請求項 1 記載のプラズマ処理装置の動作性能状況を示す性能状況情報の閲覧を公衆回線を介して要求

する購入発注者側情報端末と、

販売保守者が前記性能状況情報をアップロードする販売保守者側情報端末と、  
前記購入発注者側情報端末の要求に応答して、販売保守者側情報端末からアップロードされた性能状況情報を購入発注者側情報端末に提供する性能状況情報提供手段と、

を具備することを特徴とするプラズマ処理装置の性能確認システム。

【請求項 1 1】 性能状況情報が、前記第 1 直列共振周波数  $f_0$  を含むことを特徴とする請求項 1 0 記載のプラズマ処理装置の性能確認システム。

【請求項 1 2】 性能状況情報が、カタログまたは仕様書として出力されることを特徴とする請求項 1 1 記載のプラズマ処理装置の性能確認システム。

#### 【発明の詳細な説明】

##### 【0001】

##### 【発明の属する技術分野】

本発明は、プラズマ処理装置およびプラズマ処理装置の性能確認システムに係り、特に、より高周波の電力供給に対応して、電力消費効率の向上と被成膜特性の向上とに用いて好適な技術に関する。

##### 【0002】

##### 【従来の技術】

CVD ( chemical vapor deposition )、スパッタリング、ドライエッチング、アッシング等のプラズマ処理をおこなうプラズマ処理装置の一例としては、従来から、図 1 8 に示すような、いわゆる 2 周波励起タイプのものが知られている。

図 1 8 に示すプラズマ処理装置は、高周波電源 1 とプラズマ励起電極 4 との間に整合回路 2 A が介在されている。整合回路 2 A はこれら高周波電源 1 とプラズマ励起電極 4 との間のインピーダンスの整合を得るための回路として設けられている。

##### 【0003】

高周波電源 1 から的高周波電力は整合回路 2 A を通して給電板 3 によりプラズ



マ励起電極 4 へ供給される。この整合回路 2 A は導電体からなるハウジングにより形成されるマッチングボックス 2 内に収納されており、プラズマ励起電極 4 および給電板 3 は、導体からなるシャーシ 2 1 によって覆われている。

プラズマ励起電極（カソード電極）4 の下側には凸部 4 a が設けられるとともに、このプラズマ励起電極（カソード電極）4 の下には、多数の孔 7 が形成されているシャワープレート 5 が凸部 4 a に接して設けられている。これらプラズマ励起電極 4 とシャワープレート 5 との間には空間 6 が形成されている。この空間 6 にはガス導入管 1 7 が接続されており、導体からなるガス導入管 1 7 の途中には絶縁体 1 7 a が挿入されてプラズマ励起電極 1 4 側とガス供給源側とが絶縁されている。

#### 【 0 0 0 4 】

ガス導入管 1 7 から導入されたガスは、シャワープレート 5 の孔 7 を介してチャンバ壁 1 0 により形成されたチャンバ室 6 0 内に供給される。なお、符号 9 はチャンバ壁 1 0 とプラズマ励起電極（カソード電極）4 とを絶縁する絶縁体である。また、排気系の図示は省略してある。

一方、チャンバ室 6 0 内には基板 1 6 を載置しプラズマ励起電極ともなるウエハサセプタ（サセプタ電極）8 が設けられておりその周囲にはサセプタシールド 1 2 が設けられている。

#### 【 0 0 0 5 】

サセプタシールド 1 2 はサセプタ電極 8 を受けるシールド支持板 1 2 A と、このシールド支持板 1 2 A の中央部に垂下形成された筒型の支持筒 1 2 B とからなり、支持筒 1 2 B はチャンバ底部 1 0 A を貫通して設けられるとともに、この支持筒 1 2 B の下端部とチャンバ底部 1 0 A とがベローズ 1 1 により密閉接続されている。

ウエハサセプタ 8 およびサセプタシールド 1 2 は、これらの隙間がシャフト 1 3 の周囲の設けられた電気絶縁物からなる絶縁手段 1 2 C によって真空絶縁されるとともに電氣的にも絶縁されている。また、ウエハサセプタ 8 およびサセプタシールド 1 2 は、ベローズ 1 1 により上下動可能となっており、プラズマ励起電極 4、8 間の距離の調整ができる。

ウエハサセプタ 8 には、シャフト 1 3 およびマッチングボックス 1 4 内に収納された整合回路を介して第 2 の高周波電源 1 5 が接続されている。なお、チャンバ壁 1 0 とサセプタシールド 1 2 とは直流的に同電位となっている。

## 【 0 0 0 6 】

図 1 9 に従来のプラズマ処理装置の他の例を示す。図 1 8 に示すプラズマ処理装置とは異なり、図 1 9 に示すプラズマ処理装置は 1 周波励起タイプのプラズマ処理装置である。すなわち、カソード電極 4 にのみ高周波電力を供給しており、サセプタ電極 8 は接地されている。図 1 8 で示される高周波電源 1 5 とマッチングボックス 1 4 が無い。また、サセプタ電極 8 とチャンバ壁 1 0 とは直流的に同電位となっている。

## 【 0 0 0 7 】

上記のプラズマ処理装置においては、一般的に 1 3 . 5 6 M H z 程度の周波数の電力を投入して、両電極 4 , 8 の間でプラズマを生成し、このプラズマにより、C V D ( chemical vapor deposition ) 、スパッタリング、ドライエッチング、アッシング等のプラズマ処理をおこなうものである。

## 【 0 0 0 8 】

しかし、上記のプラズマ処理装置においては、電力消費効率（高周波電源 1 からプラズマ励起電極 4 に投入した電力に対してプラズマ中で消費された電力の割合）は必ずしも良好ではない。特に、高周波電源から供給される周波数が高くなるほど、プラズマ処理装置における電力消費効率の低下が顕著である。同時にまた、基板サイズが大きくなるほどその低下が顕著である。

その結果、電力消費効率が低いことにより、生成するプラズマ密度が上がらないため、成膜速度が遅くなる、また、たとえば絶縁膜の成膜の場合にあってはより絶縁耐圧の高い絶縁膜の形成が困難である、という問題点を有している。

## 【 0 0 0 9 】

そして、このようなプラズマ処理装置の動作確認および、動作の評価方法としては、例えば、以下のように実際に成膜等の処理をおこない、この被成膜特性を評価するというような方法でおこなっていた。

( 1 ) 堆積速度と膜面内均一性

- ①基板上にプラズマCVDにより所望の膜を成膜する。
- ②レジストのパターニングをおこなう。
- ③膜をドライエッチングする。
- ④アッシングによりレジストを剥離する。
- ⑤膜の膜厚段差を触針式段差計により計測する。
- ⑥成膜時間と膜厚から堆積速度を算出する。
- ⑦膜面内均一性は、6インチ基板面内において16ポイントで測定する。

(2) BHFエッチングレート

- 上記(1)①～②と同様にレジストマスクをパターニングする。
- ③BHF液に1分間基板を浸漬する。
  - ④純水洗浄後乾燥し、レジストを硫酸過水( $\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}_2$ )で剥離する。
  - ⑤上記(1)⑤と同様段差を計測する。
  - ⑥浸漬時間と段差からエッチング速度を算出する。

(3) 絶縁耐圧

- ①ガラス基板上にスパッタリングにより導電性膜を成膜し、下部電極としてパターニングする。
- ②プラズマCVDにより絶縁膜を成膜する。
- ③①と同様の方法で上部電極を形成する。
- ④下部電極用にコンタクト孔を形成する。
- ⑤上下電極にプロービングし、I-V特性(電流電圧特性)を測定する。このとき最大電圧として200V程度まで印加する。
- ⑥電極面積を $100\mu\text{m}$ 角とし、 $100\text{pA}$ をよぎるところが、 $1\mu\text{A}/\text{cm}^2$ に相当するので、この時のVを絶縁耐圧として定義する。

【0010】

さらに、上記のようなプラズマ処理装置に対しては、従来から、半導体および液晶製造に用いられる場合において、プラズマ処理速度(成膜時の堆積速度や、加工速度)が早く生産性が高いこと、そして、被処理基体面内方向におけるプラズマ処理の均一性(膜厚の膜面内方向分布、加工処理ばらつきの膜面内方向分布)に優れていることが求められているが、近年では、被処理基板の大型化に伴い

、膜面内方向の均一性に対する要求が一段と強まっている。

また、被処理基板の大型化に伴い、投入電力量もkWオーダーが投入されるまで増大し、電力消費量が増す傾向にある。このため、電源の高容量化に伴い、電源の開発コストが増大するとともに、装置稼働時には電力使用が増すことからランニングコストを削減することが望まれている。

また、電力消費量が増大することは、環境負荷となる二酸化炭素の排出量が増大する。これは、被処理基板の大型化に伴ってさらに放出量が増大するとともに電力消費効率をさらに下げてしまうため電力消費量が増大するので、この二酸化炭素の放出量削減への要求も高くなっている。

一方、プラズマ励起周波数として、従来一般的であった13.56MHzに対して、これを越える30MHz以上のVHF帯の周波数を用いるなど、高周波数化を図ることで、生成するプラズマ密度を向上させることができる。その結果として、プラズマCVDなどの堆積装置においては、成膜時の堆積速度を向上させることができる可能性が示されていた。

#### 【0011】

##### 【発明が解決しようとする課題】

しかし、上記のプラズマ処理装置においては、13.56MHz程度の周波数の電力を投入するように設計されており、これ以上の周波数の電力を投入することに対応していない。より具体的には、高周波電力を投入する部分、つまり、プラズマ処理をおこなうチャンバ全体としては、インピーダンス、共振周波数特性等の電気的高周波的な特性が考慮されておらず、次のような不具合が生じていた。

①13.56MHz程度以上の周波数の電力を投入した場合、電力消費効率があがらず、成膜時に堆積速度を向上することができないばかりか、むしろ、堆積速度が遅くなる場合があった。

②さらに投入する電力をより高周波数化すると、周波数の上昇に伴って、生成されるプラズマ密度は上昇してピークを迎え、その後、減少に転じて、ついにはグロー放電できなくなってしまう高周波数化の意味がなくなってしまう。

#### 【0012】

そして、このようなプラズマ処理装置の動作確認および、動作の評価方法としては、上記の（１）～（３）のような方法を採用した場合には、適正な動作をしているかどうかの確認をするためにはプラズマ処理装置を作動させることが必要である上に、プラズマ処理装置の設置場所とは別の検査場所などにおいて被処理基板を複数のステップにより処理測定する必要がある。

このため、評価結果がでるまでには数日、あるいは数週間を要しており、装置開発段階においては、プラズマ処理室の性能確認に時間がかかりすぎるため、これを短縮したいという要求があった。

#### 【 0 0 1 3 】

本発明は、上記の事情に鑑みてなされたもので、以下の目的を達成しようとするものである。

① プラズマ励起周波数の高周波化による処理速度（成膜装置においては堆積速度、加工装置においては加工速度）の向上を図ること。

② 被処理基体面内方向におけるプラズマ処理の均一性（膜厚の膜面内方向分布、加工処理ばらつきの膜面内方向分布）の向上を図ること。

③ プラズマＣＶＤ、スパッタリングなどの堆積装置においては、堆積した膜における絶縁耐圧等の膜特性の向上を図ること。

④ 電力の消費効率を向上し、同等の処理速度もしくは膜特性を得るために、従来より少ない投入電力ですむよう、電力損失の低減を図ること。

⑤ ランニングコストの削減を図るとともに、生産性の向上を図ること。

⑥ 基板処理結果以外の簡便なプラズマ処理室への性能判断の基準を与えること。

#### 【 0 0 1 4 】

##### 【課題を解決するための手段】

本発明のプラズマ処理装置は、プラズマを励起するための電極を有するプラズマ処理室と、

この電極に高周波電力を供給するための高周波電源と、

入力端と出力端とを有し該入力端に前記高周波電源を接続するとともに前記電極に接続した高周波電力配電体を前記出力端に接続することにより前記プラズマ

処理室と前記高周波電源とのインピーダンス整合を得る整合回路と、を具備し、

前記高周波電力を供給する際に整合回路の出力端に接続される前記高周波電力配電体の端部で測定した前記プラズマ処理室の第 1 直列共振周波数  $f_0$  の 3 倍が、前記高周波電力の電力周波数  $f_e$  より大きな値の範囲に設定されてなることにより上記課題を解決した。

本発明において、前記第 1 直列共振周波数  $f_0$  の 1. 3 倍が、前記電力周波数  $f_e$  より大きな値の範囲に設定されてなることが好ましく、より好ましくは前記第 1 直列共振周波数  $f_0$  が、前記電力周波数  $f_e$  の 3 倍より大きな値の範囲に設定されてなることができる。

また、本発明において、前記電極と、該電極と協働してプラズマを発生する対向電極との容量によって規定される直列共振周波数  $f_0'$  が、前記電力周波数  $f_e$  の 3 倍より大きな値の範囲に設定されてなる手段を採用することもできる。

本発明における前記プラズマを励起するための電極が平行平板型とされ、該電極と前記対向電極との間の距離を  $d$  とし、この電極間の距離方向においてそれぞれの電極と発光時のプラズマとの距離の和を  $\delta$  としたときに、前記直列共振周波数  $f_0'$  と前記電力周波数  $f_e$  とが、

【数 2】

$$f_0' > \sqrt{\frac{d}{\delta}} f_e \quad \dots (1)$$

なる関係を満たしてなることが望ましい。

また、本発明において、前記高周波電力配電体端部近傍に、前記プラズマ処理室の共振周波数を測定する共振周波数測定用端子が設けられることができる。

また、本発明において、前記高周波電力配電体端部と前記共振周波数測定用端子との間に、

プラズマを励起する際には前記配電体端部と前記測定用端子との電氣的接続を切るとともに前記配電体端部と前記整合回路の出力端との電氣的接続を確保し、かつ、前記プラズマ処理室の共振周波数を測定する際には前記配電体端部と前記測定用端子との電氣的接続を確保するとともに前記配電体と前記整合回路の出力

端との電氣的接続を切断する切り替えスイッチが設けられることができる。

また、本発明において、前記共振周波数測定用端子に、共振周波数測定器が着脱自在に接続されてなることができる。

また、本発明において、前記スイッチにより、前記高周波配電体端部と前記共振周波数測定用端子との電氣的接続を切るとともに前記配電体端部と前記整合回路の出力端との電氣的接続を確保した場合における前記整合回路の出力端位置で測定する共振周波数特性と、

前記スイッチにより、前記配電体端部と前記測定用端子との電氣的接続を確保するとともに前記配電体と前記整合回路の出力端との電氣的接続を切断した場合における前記共振周波数測定用端子で測定した共振周波数特性と、が等しく設定されてなることができる。

本発明のプラズマ処理装置の性能確認システムにおいて、購入発注者が販売保守者に発注した請求項 1 記載のプラズマ処理装置の動作性能状況を示す性能状況情報の閲覧を公衆回線を介して要求する購入発注者側情報端末と、販売保守者が前記性能状況情報をアップロードする販売保守者側情報端末と、前記購入発注者側情報端末の要求に応答して、販売保守者側情報端末からアップロードされた性能状況情報を購入発注者側情報端末に提供する性能状況情報提供手段と、を具備することができ、さらに、前記性能状況情報が、前記第 1 直列共振周波数  $f_0$  を含むとともに、前記性能状況情報が、カタログまたは仕様書として出力されることが可能である。

#### 【 0 0 1 5 】

本発明においては、前記プラズマ処理室の第 1 直列共振周波数  $f_0$  の 3 倍を、前記電力周波数  $f_e$  より大きな値の範囲に設定することにより、従来一般的に使用されていた 13.56MHz 程度以上の高い周波数の電力を投入した場合であっても、電力を効率よくプラズマ発生空間に導入することが可能となり、同一周波数を供給した場合に、プラズマ空間で消費される実効的な電力を大きくすることができる。その結果、膜の積層をおこなう際には、堆積速度の向上を図ることを可能とすることができる。

この第 1 直列共振周波数  $f_0$  は、機械的な構造をその多くの要因としてきまる

電気的高周波的な特性であり、各実機ごとに異なっていると考えられる。上記の範囲に、この第1直列共振周波数  $f_0$  を設定することにより、各実機に対しても、従来考慮されていなかったその全般的な電気的高周波的特性を設定することが可能となり、プラズマ発生の安定性を期待することができる。その結果、動作安定性の高いプラズマ処理装置を提供することが可能となる。

## 【0016】

ここで、第1直列共振周波数  $f_0$  の定義について説明する。

まず、プラズマ処理室（プラズマチャンバ）のインピーダンスの周波数依存性を計測する。このとき、後述するようにプラズマチャンバのインピーダンス測定範囲を規定し、このインピーダンス測定範囲に対して、供給する電力周波数  $f_e$  を含む範囲で測定周波数を変化させてインピーダンスのベクトル量（ $Z$ ,  $\theta$ ）を測定することにより、プラズマチャンバのインピーダンスの周波数依存性を計測する。ここで、例えば13.56MHz, 27.12MHz, 40.68MHz等の値に設定される電力周波数  $f_e$  に対応して、測定周波数を例えば1MHz～100MHz程度の範囲に設定する。

図5は第1直列共振周波数  $f_0$  を説明するためのインピーダンス  $Z$  と位相  $\theta$  との周波数依存特性を示すグラフである。

ついで、図5に示すように、測定周波数に対してインピーダンス  $Z$  と位相  $\theta$  をプロットしてインピーダンス特性曲線および位相曲線を描画し、インピーダンス  $Z$  の極小値のうち周波数の最小のもの、つまり、測定周波数の低い側から数えて一番最初に位相  $\theta$  がマイナスからプラスに変化したときに、位相  $\theta$  がゼロとなる周波数を、第1直列共振周波数  $f_0$  として定義する。

## 【0017】

次に、前述のプラズマチャンバのインピーダンス測定範囲について説明する。

プラズマチャンバには整合回路を介して高周波電源が接続されているが、この整合回路の出力端よりも出力側、つまり高周波電力配電体から電極側をインピーダンス測定範囲とする。

ここで、整合回路は、プラズマチャンバ内のプラズマ状態等の変化に対応してインピーダンスを調整するために、その多くは複数の受動素子を具備する構成と



されている。

図 2 は整合回路 2 A を示す模式図である。

例えば、整合回路 2 A としては、図 2 に示すように、高周波電源 1 とプラズマ放電用の電極 4 に接続された高周波電力配電体（給電板）3 との間に、コイル 2 3 とチューニングコンデンサ 2 4 とが直列に設けられ、さらに、高周波電源 1 には他のロードコンデンサ 2 2 が並列に接続され一端がアースされている構成の整合回路 2 A が挙げられる。このような整合回路の受動素子のうち、出力最終段の受動素子の出力端位置で切り離す、つまり、直接電極 4 側に接続される素子、上記例の場合は、チューニングコンデンサ 2 4 の出力端位置 P R で、整合回路 2 A を切り離した状態で、これよりも先の給電板 3 から電極側のプラズマチャンバ部分を前記測定範囲と定義する。

ここで、高周波配電体が電極 4 と一体とされる構成や整合回路 2 A が電極に直結される構成も可能であり、この場合には、整合回路 2 A の出力端 P R からプラズマチャンバ部分を前記測定範囲と定義する。

#### 【 0 0 1 8 】

本発明において、前記第 1 直列共振周波数  $f_0$  の 1. 3 倍が、前記電力周波数  $f_e$  より大きな値の範囲に設定されてなることが好ましく、この範囲に設定することにより、発生するプラズマ密度をより一層向上することが可能となるために、同一のプラズマ処理条件において、さらに処理速度を向上することができる。特に、成膜処理をおこなう際においては、膜の堆積速度をさらに向上することができる。また、プラズマ密度が向上されることにより、成膜された膜の特性を向上することができる。例えば、絶縁膜の成膜に際しては、膜の絶縁耐圧の向上を図ることが可能となる。同時に、プラズマ密度が向上されることにより、膜面内方向における被成膜の均一性を向上することができる、つまり、膜厚や絶縁耐圧等の膜特性の膜面内方向におけるばらつきを減少することが可能となる。

さらに、前記第 1 直列共振周波数  $f_0$  が、前記電力周波数  $f_e$  の 3 倍より大きな値の範囲に設定されてなることにより、同一の条件として、処理速度、膜の面内方向の均一性、膜特性を得るために必要な電力を従来に比べて削減することが可能となり、省電力化をはかり、ランニングコストの低減を図ることができる。

ここで、成膜時においては、処理速度は堆積速度、膜の面内方向の均一性としては膜厚や膜特性、膜特性としては絶縁耐圧等が対応する。

## 【 0 0 1 9 】

また、本発明において、前記電極間の容量によって規定される直列共振周波数  $f_0'$  が、前記電力周波数  $f_e$  の 3 倍より大きな値の範囲に設定されてなることにより、プラズマを発光させる前記電極間の容量の周波数特性を直接規定できるため、プラズマ発光空間に対して電力をより効果的に投入することができ、さらなる電力消費効率の向上かまたは処理効率の向上を図ることが可能となる。

## 【 0 0 2 0 】

本発明における前記電極が平行平板型とされ、図 1 4 に示すように、この平行平板型の電極と対向電極との間の距離を  $d$  とし、この電極間の距離方向においてそれぞれの電極と発光時のプラズマとの距離の和を  $\delta$  としたときに、前記直列共振周波数  $f_0'$  と前記電力周波数  $f_e$  とが、上記 (1) 式なる関係を満たしてなることが望ましく、これにより、電極間においてプラズマが発光していない部分の距離の和  $\delta$  から、実際にプラズマ発光状態における電極間のモデル的な容量が求められ、このモデル的な容量から規定される周波数特性の値と、電極間の距離  $d$  から求められる非プラズマ発光時における電極間の容量から規定される周波数特性の値との関係を設定することができる。

ここで、図 1 4 に示すように、プラズマ発光時における平行平板電極は、その間にあるプラズマが導体として見なせるため、あたかも、電極間の距離が  $\delta$  になったようになる。その結果、平行平板電極間の容量は、非プラズマ発光時に容量  $C_0$  だったものが、プラズマ発光時には見かけ上  $d/\delta$  倍になる。そして、前記直列共振周波数  $f_0'$  は容量  $C_0$  の平方根の逆数に比例するため、プラズマ発光時における直列共振周波数は  $d/\delta$  の平方根の逆数に比例する。従って、直列共振周波数  $f_0'$  の  $d/\delta$  の平方根の逆数倍の値が、電力周波数  $f_e$  よりも大きく設定されることにより、プラズマ発光時における電極間の直列共振周波数を電力周波数に対して設定して、プラズマ発光時の電力消費効率の向上を図ることが可能となる。

## 【 0 0 2 1 】

また、本発明において、前記プラズマチャンバ（プラズマ処理室）の前記整合回路の出力端位置に、前記プラズマチャンバの共振周波数測定用端子（インピーダンス測定用端子）を設けることができる。これにより、測定時に電力供給用の導体と整合回路とを切り離すために、電力供給線部分と整合回路とを着脱することなく、前記プラズマチャンバの共振周波数特性を得るためにインピーダンス特性を測定する際のプロービングを容易におこなうことが可能となり、第1直列共振周波数  $f_0$  の測定時における作業効率を向上することができる。

## 【 0 0 2 2 】

また、本発明において、前記プラズマチャンバ（プラズマ処理室）における前記整合回路の出力端位置に、前記整合回路と前記インピーダンス測定用端子（共振周波数測定用端子）とを切り替えるスイッチを設けることにより、プラズマチャンバのインピーダンス測定時において、上述したように、インピーダンス測定用端子からみた場合、測定するべきプラズマチャンバに対して並列に接続されていた整合回路を、スイッチによって切断することができるため、電力供給用度謡と整合回路との機械的な着脱が不要となりスイッチを介して容易にプラズマチャンバ単独のインピーダンス特性を測定することが可能となる。従って、第1直列共振周波数の測定をより正確におこなうことができる。

## 【 0 0 2 3 】

また、本発明において、前記インピーダンス測定用端子（共振周波数測定用端子）に、インピーダンス測定器（共振周波数測定器）が着脱自在に接続されてなることにより、非測定時において、インピーダンス測定用端子とインピーダンス測定器との接続をプラズマチャンバから切り離すか、スイッチを切り替えることにより、プラズマ発生時にインピーダンス測定器に対して作用する電氣的影響を防止することができる。また、複数のプラズマチャンバが並設されている際には、単一のインピーダンス測定器を兼用してこれらのプラズマチャンバの測定をおこなうことができる。これにより、プラズマチャンバ（プラズマ処理室）と整合回路とを着脱することなく、かつインピーダンス測定用端子に接続されるインピーダンス測定器側のインピーダンス測定用プローブを着脱することなく、スイッチ切り替えのみによりインピーダンス特性、共振周波数特性の測定および第1直

列共振周波数  $f_0$  の測定を容易におこなうことが可能となる。

【0024】

また、本発明において、前記スイッチを整合回路側に接続した場合における前記整合回路の出力端位置側からの共振周波数特性と、前記スイッチを前記インピーダンス測定用端子側に接続した場合における前記インピーダンス測定用端子（共振周波数測定用端子）側からの共振周波数特性とが等しく設定されてなることができ、これにより、測定用端子に接続されたインピーダンス測定器（共振周波数測定器）からのインピーダンス測定値を、整合回路出力側最終段の出力位置から測定した値と同等と見なすことができるため、第1直列共振周波数の算出に際して補正が不要となり、実測値の換算が不要となるので、作業効率を向上することができる。

【0025】

さらに、本発明では、第1の高周波電源と、該第1の高周波電源と接続される高周波電極と、前記第1の高周波電源と前記高周波電極との間のインピーダンスの整合を得る整合回路を備えた高周波電極側マッチングボックスと、第2の高周波電源と、前記高周波電極と対向配置され前記第2の高周波電源と接続されるときともに被処理基板を支持するサセプタ電極と、前記第2の高周波電源と前記サセプタ電極との間のインピーダンスの整合を得る整合回路を備えたサセプタ電極側マッチングボックスとを有しする、いわゆる2周波励起型プラズマCVD装置において、サセプタ側の電源周波数および整合回路出力端から測定した第1直列共振周波数  $f_0$  に対しても、前述のカソード電極側と同様にして各設定を適用することができる。

【0026】

本発明のプラズマ処理装置の性能確認システムにおいて、販売保守者がアップロードしたプラズマ処理装置の動作性能状況を示す性能状況情報に対して、購入発注者が情報端末から公衆回線を介して閲覧を可能とすることにより、購入発注者に対して、購入時に判断基準となる情報を伝達することが可能となり、かつ、使用時における、プラズマ処理装置の動作性能・保守情報を容易に提供することが可能となる。また、前記性能状況情報が、上述したようにプラズマ処理装置に

対する性能パラメータとしての前記第 1 直列共振周波数  $f_0$  を含むことにより、購入発注者のプラズマ処理装置に対する性能判断材料を提供できるとともに、購入時における適切な判断をすることが可能となる。さらに、前記性能状況情報を、カタログまたは仕様書として出力することができる。

【 0 0 2 7 】

【発明の実施の形態】

以下、本発明に係るプラズマ処理装置の第 1 実施形態を、図面に基づいて説明する。

〔第 1 実施形態〕

図 1 は本実施形態のプラズマ処理装置の概略構成を示す断面図、図 2 は図 1 におけるプラズマ処理装置の整合回路を示す模式図である。

【 0 0 2 8 】

本実施形態のプラズマ処理装置は、CVD ( chemical vapor deposition ) 、スパッタリング、ドライエッチング、アッシング等のプラズマ処理をおこなう 1 周波励起タイプのプラズマ処理装置とされ、図 1 に示すように、プラズマを励起するための平行平板型電極 4, 8 を有するプラズマチャンバ ( プラズマ処理室 ) CN と、この電極 3 に接続された高周波電源 1 と、前記プラズマチャンバ CN と前記高周波電源 1 とのインピーダンス整合を得るための整合回路 2 A とを具備する構成とされる。

同時に、本実施形態のプラズマ処理装置は、後述するように、前記整合回路 2 A の出力端位置 PR から測定した前記プラズマチャンバ CN の第 1 直列共振周波数  $f_0$  の 3 倍が、前記高周波電源 1 からプラズマチャンバ CN に供給される電力周波数  $f_e$  より大きな値の範囲に設定されている。

【 0 0 2 9 】

さらに詳細に説明すると、本実施形態のプラズマ処理装置は、図 1, 図 2 に示すように、プラズマチャンバ CN の上部に高周波電源 1 に接続されたプラズマ励起電極 ( 電極 ) 4 およびシャワープレート 5 が設けられ、プラズマチャンバ CN の下部にはシャワープレート 5 に対向して被処理基板 1 6 を載置するサセプタ電極 ( 電極 ) 8 が設けられている。プラズマ励起電極 ( 電極 ) 4 は、給電板 ( 高周

波電力配電体) 3 および整合回路 2 A を介して第 1 の高周波電源 1 と接続されている。これらプラズマ励起電極 4 および給電板 3 は、シャーシ 2 1 に覆われるとともに、整合回路 2 A は導電体からなるマッチングボックス 2 の内部に収納されている。

給電板 3 としては、幅 5 0 ~ 1 0 0 m m、厚さ 0. 5 m m、長さ 1 0 0 ~ 3 0 0 m m の形状を有する銅の表面に銀めっきを施したものが用いられており、この給電板 3 は、後述する整合回路 2 A のチューニングコンデンサ 2 4 の出力端子、および、プラズマ励起電極 4 にそれぞれネジ止めされている。

#### 【 0 0 3 0 】

また、プラズマ励起電極 (カソード電極) 4 の下側には凸部 4 a が設けられるとともに、このプラズマ励起電極 (カソード電極) 4 の下には、多数の孔 7 が形成されているシャワープレート 5 が凸部 4 a に接して設けられている。これらプラズマ励起電極 4 とシャワープレート 5 との間には空間 6 が形成されている。この空間 6 にはガス導入管 1 7 が接続されており、導体からなるガス導入管 1 7 の途中には絶縁体 1 7 a が挿入されてプラズマ励起電極 1 4 側とガス供給源側とが絶縁されている。

#### 【 0 0 3 1 】

ガス導入管 1 7 から導入されたガスは、シャワープレート 5 の多数の孔 7, 7 からチャンバ壁 1 0 により形成されたチャンバ室 6 0 内に供給される。チャンバ壁 1 0 とプラズマ励起電極 (カソード電極) 4 とは絶縁体 9 により互いに絶縁されている。また、排気系の図示は省略してある。

一方、チャンバ室 6 0 内には基板 1 6 を載置しプラズマ励起電極ともなるウエハサセプタ (サセプタ電極) 8 が設けられている。

#### 【 0 0 3 2 】

サセプタ電極 (対向電極) 8 の下部中央には、シャフト 1 3 が接続され、このシャフト 1 3 がチャンバ底部 1 0 A を貫通して設けられるとともに、シャフト 1 3 の下端部とチャンバ底部 1 0 A 中心部とがベローズ 1 1 により密閉接続されている。これら、ウエハサセプタ 8 およびシャフト 1 3 はベローズ 1 1 により上下動可能となっており、プラズマ励起電極 4, 8 間の距離の調整ができる。

これらサセプタ電極 8 とシャフト 1 3 と支持筒 1 2 B とが接続されているため、サセプタ電極 8、シャフト 1 3、ベローズ 1 1、チャンバ底部 1 0 A、チャンバ壁 1 0 は直流的に同電位となっている。さらに、チャンバ壁 1 0 とシャーシ 2 1 は接続されているため、チャンバ壁 1 0、シャーシ 2 1、マッチングボックス 2 はいずれも直流的に同電位となっている。

### 【 0 0 3 3 】

ここで、整合回路 2 A は、プラズマチャンバ C N 内のプラズマ状態等の変化に対応してインピーダンスを調整するために、その多くは複数の受動素子を具備する構成とされている。

整合回路 2 A は、図 1、図 2 に示すように、複数の受動素子として、高周波電源 1 と給電板 3 との間に、コイル 2 3 とチューニングコンデンサ 2 4 とが直列に設けられ、これらコイル 2 3 とチューニングコンデンサ 2 4 とには、並列にロードコンデンサ 2 2 が接続され、このロードコンデンサ 2 2 の一端はマッチングボックス 2 1 に接続されている。ここで、チューニングコンデンサ 2 4 は給電板 3 を介してプラズマ励起電極 4 に接続されている。

マッチングボックス 2 は、同軸ケーブルとされる給電線 1 A のシールド線に接続されており、このシールド線が直流的にアースされている。これにより、サセプタ電極 8、シャフト 1 3、ベローズ 1 1、チャンバ底部 1 0 A、チャンバ壁 1 0、シャーシ 2 1、マッチングボックス 2 は接地電位に設定されることになり、同時に、ロードコンデンサ 2 2 の一端も直流的にアースされた状態となる。

### 【 0 0 3 4 】

本実施形態のプラズマ処理装置においては、13.56MHz 程度以上の周波数の電力、具体的には、例えば 13.56MHz、27.12MHz、40.68MHz 等の周波数の電力を投入して、両電極 4、8 の間でプラズマを生成し、このプラズマにより、サセプタ電極 8 に載置した基板 1 6 に CVD (chemical vapor deposition)、ドライエッチング、アッシング等のプラズマ処理をおこなう。

このとき、高周波電力は、高周波電源 1 から給電線 1 A の同軸ケーブル、整合回路 2 A、給電板 3、プラズマ励起電極 (カソード電極) 4 に供給される。一方

、高周波電流の経路を考えた場合、電流はこれらを介してプラズマ空間（チャンバ室 6 0）を経由した後、さらにもう一方の電極（サセプタ電極）8，シャフト 1 3，ベローズ 1 1，チャンバ底部 1 0 A，チャンバ壁 1 0 を通る。その後、シャーシ 2 1，マッチングボックス 2，給電線 1 A のシールド線を通り、高周波電源 1 のアースに戻る。

#### 【 0 0 3 5 】

ここで、本実施形態のプラズマ処理装置における第 1 直列共振周波数  $f_0$  について説明する。

#### 【 0 0 3 6 】

第 1 直列共振周波数  $f_0$  は、プラズマチャンバ CN のインピーダンスの周波数依存性を計測し、インピーダンス  $Z$  の極小値のうち最小の周波数の値であり、この値が、前記電力周波数  $f_e$  より大きな値の範囲になるよう設定される。

この第 1 直列共振周波数  $f_0$  は、機械的な構造をその多くの要因としてきまる電気的高周波的な特性であり、具体的には図 3，図 4 に示すように測定される。

図 3 はプラズマ処理装置のインピーダンス特性を説明するための模式図であり、図 4 は、図 3 の等価回路を示す回路図である。

#### 【 0 0 3 7 】

プラズマチャンバ CN の測定範囲としては、整合回路 2 A の受動素子のうち出力最終段の受動素子の出力端位置で切り離れた状態をその対象とする。つまり、図 3 に示すように、給電板 3 に接続されるチューニングコンデンサ 2 4 の出力端位置 PR で、給電板 3 と整合回路 2 A の端子とのネジ止めを外して整合回路 2 A を切り離れた状態のプラズマチャンバ CN を測定範囲とする。

#### 【 0 0 3 8 】

そして図 3 に破線で示すように、インピーダンス測定器 AN のプローブ 1 0 5 を切り離れた出力端位置 PR およびプラズマチャンバ CN の例えばシャーシ 2 1 とされるアース位置に接続する。この状態で、インピーダンス測定器 AN の発振する測定周波数を例えば 1 MHz ～ 1 0 0 MHz の範囲に変化させて、プラズマチャンバ CN の上記測定範囲に対するインピーダンスのベクトル量 ( $Z$ ,  $\theta$ ) を測定する。



このプローブ 1 0 5 は、図 3 に示すように、導線 1 1 0 上に絶縁被覆 1 1 2 を設け、この絶縁被覆 1 1 2 上に外周導体 1 1 1 を被覆してなるものである。このプローブ 1 0 5 は同軸ケーブルを通してインピーダンス測定器（共振周波数測定器）A N に接続されている。

## 【 0 0 3 9 】

ついで、図 5 に示すように、測定周波数  $f$  (MHz) を横軸とし、縦軸としてインピーダンス  $Z$  ( $\Omega$ ) と位相  $\theta$  (deg) とを同一のグラフ上にプロットしていく。ここで、図において、左側の縦軸はインピーダンス  $Z$  ( $\Omega$ ) であり、右側の縦軸は位相  $\theta$  (deg) に対応している。描画されたインピーダンス特性曲線および位相曲線のうち、インピーダンスの最小値  $Z_{\min}$  の周波数、つまり、測定周波数  $f$  の低い側から数えて一番最初に位相  $\theta$  がマイナスからプラスに変化したときに、位相  $\theta$  がゼロとなる周波数を、第 1 直列共振周波数  $f_0$  として定義する。

## 【 0 0 4 0 】

このとき、測定される第 1 直列共振周波数  $f_0$  に対して、考慮されている電気的高周波的要因は、図 3 に示すように、上記測定範囲のうち、以下のものが考えられる。

給電板（フィーダ）3 のインダクタンス  $L_f$  および抵抗  $R_f$

プラズマ励起電極 4 とサセプタ電極 8 との間のプラズマ電極容量  $C_e$

シャフト 1 3 のインダクタンス  $L_C$  および抵抗  $R_C$

ベローズ 1 1 のインダクタンス  $L_B$  および抵抗  $R_B$

チャンバ壁 1 0 のインダクタンス  $L_A$  および抵抗  $R_A$

絶縁体 1 7 a を挟んでガス導入管 1 7 とプラズマ励起電極 4 との間の容量  $C_A$

プラズマ励起電極 4 とシャーシ 2 1 との間の容量  $C_B$

プラズマ励起電極 4 とチャンバ壁 1 0 との間の容量  $C_C$

## 【 0 0 4 1 】

これらの電気的高周波的要因が、プラズマ発光時に供給される高周波電流が流れる回路と同様にして、図 4 に示すように、給電板（フィーダ）3 のインダクタンス  $L_f$  および抵抗  $R_f$ 、プラズマ励起電極 4 とサセプタ電極 8 との間のプラズ

マ電極容量 $C_e$ 、シャフト13のインダクタンス $L_C$  および抵抗 $R_C$ 、ベローズ11のインダクタンス $L_B$  および抵抗 $R_B$ 、チャンバ壁10のインダクタンス $L_A$  および抵抗 $R_A$ 、が順に直列に接続されてその終端の抵抗 $R_A$  がアースされるとともに、抵抗 $R_f$  とプラズマ電極容量 $C_e$  との間に、容量 $C_A$ 、容量 $C_B$ 、容量 $C_C$  の一端がアースされた状態でそれぞれ並列に接続された等価回路を形成しており、この等価回路のインピーダンス特性を計測することで、本実施形態の第1直列共振周波数 $f_0$  を定義することができる。

## 【0042】

このように定義された第1直列共振周波数 $f_0$  の3倍が、高周波電源1から供給される電力周波数 $f_e$  より大きな値の範囲になるように設定する。

ここで、第1直列共振周波数 $f_0$  を設定する方法としては、例えば、

- ①給電板3の形状（長さ）を調整する。
- ②プラズマ励起電極4とチャンバ壁10とのオーバーラップ面積を調整する。
- ③プラズマ励起電極4とチャンバ壁10との間の絶縁材料を調節する。
- ④サセプタ電極8とチャンバ壁10とを導体で接続する。

等の手法を適用することができる。

## 【0043】

例えば、本実施形態のプラズマ処理装置においては、電力周波数 $f_e$  を40.68MHzに設定して、0～100MHzの範囲の測定周波数 $f$  (MHz) に対してインピーダンス $Z$  ( $\Omega$ ) と位相 $\theta$  (deg) を測定し、図6に示すように、インピーダンス特性曲線および位相曲線を描画する。そして、

$$3f_0 > f_e \quad (2)$$

を満たすように、第1直列共振周波数 $f_0$  を16.5MHzとして設定する。

## 【0044】

本実施形態のプラズマ処理装置においては、プラズマチャンバCNの第1直列共振周波数 $f_0$  の3倍を、前記電力周波数 $f_e$  より大きな値の範囲に設定することにより、従来は、考慮されていなかったプラズマチャンバCNの全体的な電気

的高周波的な特性を適正な範囲に収めることができる。これにより、動作安定性を向上して、従来一般的に使用されていた 13.56MHz 程度以上の高い周波数の電力を投入した場合であっても、高周波電源 1 からの電力を、プラズマ励起電極 4 とサセプタ電極 8 との間のプラズマ発生空間に効率よく導入することが可能となる。同時に、同一周波数を供給した場合に、従来のプラズマ処理装置と比べて、プラズマ空間で消費される実効的な電力を大きくし、生成するプラズマ密度の上昇を図ることができる。その結果、プラズマ励起周波数の高周波化による処理速度の向上を図ること、つまり、プラズマ CVD 等により膜の積層をおこなう際には、堆積速度の向上を図ることができる。

## 【 0 0 4 5 】

さらに、プラズマ空間に効率よく電力が供給されることにより、プラズマの不要な広がりも抑制でき、被処理基体 16 における膜面内方向におけるプラズマ処理の均一性の向上を図ることができ、成膜処理においては膜厚の膜面内方向分布の均一性の向上を図ることが可能となる。

同時に、高い電力を投入することによりプラズマポテンシャルを低くすることができ、イオンによるダメージを抑制できるので、プラズマ CVD、スパッタリングなどの成膜処理においては、成膜状態の向上、すなわち、堆積した膜における絶縁耐圧や、エッチング液に対する耐エッチング性、そして、いわゆる膜の「固さ」つまり膜の緻密さ等の膜特性の向上を図ることが可能となる。

ここで、膜の緻密さは例えば、BHF 液によるエッチングに対する浸食されにくさ、耐エッチング性によって表現可能である。

## 【 0 0 4 6 】

さらに、同一周波数を供給した場合に、従来のプラズマ処理装置と比べてプラズマ空間に効率よく電力を供給することができるため、電力の消費効率を向上し、同等の処理速度もしくは膜特性を得るために、従来より少ない投入電力ですむようにできる。したがって、電力消費の低減を図ること、ランニングコストの削減を図ることができる。同時に、従来と同じ投入時間を用いる場合には、処理時間を短縮することが可能となり、生産性の向上を図ることができる。いずれの場合も省力化が可能となり、電力消費に伴う二酸化炭素の排出総量を削減すること

が可能となる。

【 0 0 4 7 】

そして、プラズマ処理装置の実機が設置してある場所で、インピーダンス測定器 A N により第 1 直列共振周波数  $f_0$  を測定するだけで、短時間にプラズマ処理装置の性能確認および、性能の評価が可能となる。このため、成膜された基板を検査するために、製造ラインを数日あるいは数週間停止してプラズマ処理装置の性能確認および、性能の評価をする必要がなくなり、製造ラインとしての生産性を向上することができる。

この第 1 直列共振周波数  $f_0$  は、機械的な構造をその多くの要因としてきまる電気的高周波的な特性であり、各実機ごとに異なっていると考えられる。上記の範囲に、この第 1 直列共振周波数  $f_0$  を設定することにより、各実機に対しても、従来考慮されていなかったその全般的な電気的高周波的な特性を設定することが可能となり、プラズマ発生の安定性を期待することができる。その結果、動作安定性の高いプラズマ処理装置を提供することが可能となる。

【 0 0 4 8 】

なお、図 1 6 に示すように、それぞれのインピーダンスが一致する複数本の導線 1 0 1 a ~ 1 0 1 h の一端をプローブ取付具 1 0 4 に接続してなるフィクスチャを使用してプラズマチャンバ C N のインピーダンス特性を測定することも可能である。

プローブ取付具 1 0 4 は、例えば 5 0 m m × 1 0 m m × 0 . 5 m m の銅板を、締め付け部 1 0 6 とリング部とができるように成形されている。リング部はプローブ 1 0 5 の外側にはめ込み可能な径とされる。このプローブ取付部 1 0 4 に導線 1 0 1 a ~ 1 0 1 h の一端をハンダ付けなどにより電氣的に接続する。

導線 1 0 1 a ~ 1 0 1 h の他端には、測定対象（プラズマチャンバ C N ）との着脱用の端子（圧着端子） 1 0 2 a ~ 1 0 2 h が取り付けられている。

このフィクスチャを使用するに際してはプローブ取付具 1 0 4 のリング状部 1 0 4 をプローブ 1 0 5 にはめ込み、締め付け部 1 0 6 で締め付けを行う。一方各導線 1 0 1 a ~ 1 0 1 h は略点对称となるように圧着端子 1 0 2 a ~ 1 0 2 h において測定対象に、図 1 7 に示すように、ねじ 1 1 4 により着脱自在にねじ止め

する

導体 1 0 1 a ~ 1 0 1 h は、例えばアルミニウム、銅、銀、金により構成すればよく、または、銀、金を 5 0  $\mu$  m 以上メッキして構成してもよい。

#### 【 0 0 4 9 】

このようなフィクスチャを使用してインピーダンスを測定する方法を図 1 7 を用いて説明する。

まずプラズマ処理装置の高周波電源 1 とマッチングボックス 2 をプラズマ処理装置から取り外す。インピーダンス測定具のプロープ 1 0 5 の導線 1 1 0 を給電板 3 に接続する。次いでインピーダンス測定具のフィクスチャの導線 1 0 1 a ~ 1 0 1 h に接続する圧着端子 1 0 2 a ~ 1 0 2 h をプラズマ処理装置のハウジング 2 1 に給電板 3 を中心とする略点対称となるようにネジ 1 1 4 によってネジ止めする。インピーダンス測定具をこのように配置した後、測定信号をインピーダンス測定具の導線 1 1 0 に供給し、前記プラズマ処理装置の給電板 3 からプラズマ空間 6 0 を経てハウジング 2 1 に至る経路のインピーダンスを測定する。

これにより、測定対象の大きさ、あるいは、測定する 2 点間の距離に制約を与えることなく、かつ、測定対象に均一に電流を流すことができ、測定対象のインピーダンスを測定するのに影響を及ぼさない残留インピーダンス値を設定することにより、正確にインピーダンス測定をおこなうことができる。

#### 【 0 0 5 0 】

なお、本実施形態においては、サセプタ電極側 8 に基板 1 6 を載置してプラズマ励起電極 4 に対する電力周波数  $f_e$  と第 1 直列共振周波数  $f_0$  とを設定したが、カソード電極 4 側に基板 1 6 を取り付けよう対応することも可能である。

#### 【 0 0 5 1 】

以下、本発明に係るプラズマ処理装置の第 2 実施形態を、図面に基づいて説明する。

#### 〔第 2 実施形態〕

図 7 は本実施形態のプラズマ処理装置の概略構成を示す断面図である。

#### 【 0 0 5 2 】

本実施形態のプラズマ処理装置は、2 周波励起タイプのプラズマ処理装置とさ

れ、図 1 ～ 図 4 に示した第 1 実施形態と異なるのはサセプタ電極 8 側に電力を供給する点と、測定用端子 6 1 に関する点と、第 1 直列共振周波数  $f_0$  の設定に関する点である。それ以外の対応する構成要素には同一の符号を付してその説明を省略する。

本実施形態のプラズマ処理装置は、プラズマチャンバ（プラズマ処理室）CN の第 1 直列共振周波数  $f_0$  の 1. 3 倍が、前記高周波電源 1 からプラズマチャンバ CN に供給される電力周波数  $f_e$  より大きな値の範囲に設定される。

#### 【 0 0 5 3 】

本実施形態のプラズマ処理装置は、図 7 に示すように、サセプタ電極 8 の周囲にサセプタシールド 1 2 が設けられ、ウエハサセプタ 8 およびサセプタシールド 1 2 は、これらの隙間がシャフト 1 3 の周囲の設けられた電気絶縁物からなる絶縁手段 1 2 C によって真空絶縁されるとともに電氣的にも絶縁されている。また、ウエハサセプタ 8 およびサセプタシールド 1 2 は、ベローズ 1 1 により上下動可能に構成されている。この構成により、プラズマ励起電極 4 とサセプタ電極 8 との間の距離が調整可能となっている。また、サセプタ電極 8 は、シャフト 1 3 下端に接続された給電板 2 8、および、導電体からなるサセプタ電極側マッチングボックス 2 6 内部に収納された整合回路 2 5 を介して第 2 の高周波電源 2 7 と接続されている。

これら給電板 2 8 は、サセプタシールド 1 2 の支持筒 1 2 B 下端に接続されたシャーシ 2 9 に覆われるとともに、シャーシ 2 9 は、同軸ケーブルとされる給電線 2 7 A のシールド線によって接続されマッチングボックス 2 6 とともにアースされている。これにより、サセプタシールド 1 2、シャーシ 2 9、マッチングボックス 2 9 は直流的に同電位となっている。

#### 【 0 0 5 4 】

ここで、整合回路 2 5 は、第 2 の高周波電源 2 7 とサセプタ電極 8 との間のインピーダンスの整合を図るものとされ、この整合回路 2 5 としては、図 7 に示すように、複数の受動素子として、第 2 の高周波電源 2 7 と給電板 2 8 との間に、チューニングコイル 3 0 とチューニングコンデンサ 3 1 とが直列に設けられ、これらと並列にロードコンデンサ 3 2 が接続され、このロードコンデンサ 3 2 の一

端はマッチングボックス 2 6 に接続されており、整合回路 2 A と略同様の構成とされている。マッチングボックス 2 6 は給電線 2 7 A のシールド線を介して接地電位に設定されており、同時に、ロードコンデンサ 3 2 の一端がアースされている。なお、チューニングコイル 3 0 と直列にチューニングコイルを接続することや、ロードコンデンサ 3 2 と並列にロードコンデンサを設けることも可能である。

給電板 2 8 としては給電板 3 と同様なものが適用され、この給電板 2 8 は整合回路 2 5 からの端子およびシャフト 1 3 にそれぞれネジ止めされている。

#### 【 0 0 5 5 】

本実施形態のプラズマチャンバ C N の測定範囲である、整合回路 2 A の受動素子のうち出力最終段の受動素子であるチューニングコンデンサ 2 4 の出力端位置 P R には、前記プラズマチャンバ C N のインピーダンス測定用端子（共振周波数測定用端子） 6 1 が設けられている。このインピーダンス測定用端子 6 1 は、第 1 実施形態で測定範囲を規定した出力端位置 P R から、導体によってシャーシ 2 1 の外部までのびている。

#### 【 0 0 5 6 】

本実施形態のプラズマ処理装置においては、サセプタ電極 8 上に被処理基板 1 6 を載置し、第 1、第 2 の高周波電源 1、2 7 からプラズマ励起電極 4 とサセプタ電極 8 の双方にそれぞれ高周波電力を印加するとともにガス導入管 1 7 からシャワープレート 6 を介して反応ガスをチャンバ 6 0 内に供給してプラズマを発生させ、被処理基板 1 6 に対して成膜等のプラズマ処理をおこなう。このとき、第 1 の高周波電源 1 から 1 3. 5 6 M H z 程度以上の周波数の電力、具体的には、例えば 1 3. 5 6 M H z、2 7. 1 2 M H z、4 0. 6 8 M H z 等の周波数の電力を投入する。そして、第 2 の高周波電源 2 7 から第 1 の高周波電源 1 と同等の電力を供給するか、または、異なる周波数の電力、例えば 1. 6 M H z 程度の電力を投入することもできる。

#### 【 0 0 5 7 】

ここで、本実施形態のプラズマ処理装置における第 1 直列共振周波数  $f_0$  は、第 1 実施形態と同様にして測定・定義する。本実施形態の第 1 直列共振周波数  $f$

0 は、具体的には図 8，図 9 に示すように測定・定義される。

図 8 は本実施形態のプラズマ処理装置のインピーダンス特性を説明するための模式図であり、図 9 は、図 8 の等価回路を示す回路図である。

#### 【0058】

本実施形態のプラズマチャンバ CN の測定範囲としては、インピーダンス測定用端子 61 からみたプラズマチャンバ CN の状態をその対象とする。つまり、図 9 に示すように、第 1 実施形態における測定範囲と同様にして、チューニングコンデンサ 24 の出力端位置 PR と直列に接続されたインピーダンス測定用端子 61 を測定範囲とする。つまり、プラズマ発生時には、出力端位置 PR から給電板 3 等と並列に接続された整合回路 2A、および、サセプタ電極 8 に接続された整合回路 25 は、インピーダンス特性（高周波数特性）測定時には切り離すことになる。

ここで、図には高周波電源 1，27 が記載してあるが、これらは電力供給状態を示すものではなく、整合回路 2A，25 の接地状態を示すことを主眼とするものである。というのも、電力供給状態においては、インピーダンス特性を計測することはできないからである。

#### 【0059】

そして、図 8 に破線で示すように、インピーダンス測定器 AN のプローブ 105 をインピーダンス測定用端子 61 およびプラズマチャンバ CN の例えばシャーシ 21 とされるアース位置に接続する。この状態で、インピーダンス測定器 AN の発振する測定周波数を例えば 1MHz ～ 100MHz の範囲に変化させて、プラズマチャンバ CN の上記測定範囲に対するインピーダンスのベクトル量 ( $Z$ ， $\theta$ ) を測定する。

#### 【0060】

ついで、図 10 に示すように、測定周波数  $f$  (MHz) を横軸とし、縦軸としてインピーダンス  $Z$  ( $\Omega$ ) と位相  $\theta$  (deg) とを同一のグラフ上にプロットしていく。ここで、図において、左側の縦軸はインピーダンス  $Z$  ( $\Omega$ ) であり、右側の縦軸は位相  $\theta$  (deg) に対応している。描画されたインピーダンス特性曲線および位相曲線のうち、インピーダンスの最小値  $Z_{\min}$  の周波数、つまり、測



定周波数  $f$  の低い側から数えて一番最初に位相  $\theta$  がマイナスからプラスに変化したときに、位相  $\theta$  がゼロとなる周波数を、第 1 直列共振周波数  $f_0$  として定義する。

## 【 0 0 6 1 】

このとき、測定される第 1 直列共振周波数  $f_0$  に対して、考慮されている電気的高周波的要因は、図 8 に示すように、上記測定範囲のうち、以下のものが考えられる。

給電板（フィード）3 のインダクタンス  $L_f$  および抵抗  $R_f$

プラズマ励起電極 4 とサセプタ電極 8 との間のプラズマ電極容量  $C_e$

サセプタ電極 8 とサセプタシールド 1 2 との間の容量  $C_s$

サセプタシールド 1 2 の支持筒 1 2 B のインダクタンス  $L_C$  および抵抗  $R_C$

ベローズ 1 1 のインダクタンス  $L_B$  および抵抗  $R_B$

チャンバ壁 1 0 のインダクタンス  $L_A$  および抵抗  $R_A$

絶縁体 1 7 a を挟んだガス導入管 1 7 とプラズマ励起電極 4 との間の容量  $C_A$

プラズマ励起電極 4 とシャーシ 2 1 との間の容量  $C_B$

プラズマ励起電極 4 とチャンバ壁 1 0 との間の容量  $C_C$

## 【 0 0 6 2 】

これらの電気的高周波的要因が、プラズマ発光時に供給される高周波電流の流れる回路と同様と見なせる状態として、図 9 に示すように、給電板（フィード）3 のインダクタンス  $L_f$  および抵抗  $R_f$ 、プラズマ励起電極 4 とサセプタ電極 8 との間のプラズマ電極容量  $C_e$ 、サセプタ電極 8 とサセプタシールド 1 2 との間の容量  $C_s$ 、サセプタシールド 1 2 の支持筒 1 2 B のインダクタンス  $L_C$  および抵抗  $R_C$ 、ベローズ 1 1 のインダクタンス  $L_B$  および抵抗  $R_B$ 、チャンバ壁 1 0 のインダクタンス  $L_A$  および抵抗  $R_A$  が、順に直列に接続されてその終端の抵抗  $R_A$  がアースされるとともに、出力端位置 P R に接続された整合回路 2 A からの寄与、抵抗  $R_f$  とプラズマ電極容量  $C_e$  との間に一端がアースされた状態でそれぞれ並列に接続された容量  $C_A$ 、容量  $C_B$ 、容量  $C_C$  が、等価回路を形成しており、この等価回路のインピーダンス特性を計測することで、本実施形態の第 1 直列共振周波数  $f_0$  を定義することができる。

## 【 0 0 6 3 】

このように定義された第 1 直列共振周波数  $f_0$  の 1. 3 倍を、高周波電源 1 から供給される電力周波数  $f_e$  より大きな値の範囲に設定する。

ここで、第 1 直列共振周波数  $f_0$  を調整設定する方法としては、例えば、

- ①給電板 3 の形状長さを変化させる。
- ②プラズマ励起電極 4 とチャンバ壁 1 0 とのオーバーラップ面積を制御する。
- ③プラズマ励起電極 4 とチャンバ壁 1 0 との間の絶縁材料を厚くする。
- ④サセプタ電極 8 とチャンバ壁 1 0 とを導体で接続する等調整する。

等の手法を適用することができる。

## 【 0 0 6 4 】

例えば、本実施形態のプラズマ処理装置においては、電力周波数  $f_e$  を 4 0. 6 8 M H z に設定して、1 ~ 1 0 0 M H z の範囲の測定周波数  $f$  ( M H z ) に対してインピーダンス  $Z$  (  $\Omega$  ) と位相  $\theta$  ( d e g ) を測定し、図 1 0 に示すように、インピーダンス特性曲線および位相曲線を描画する。そして、

$$1. 3 f_0 > f_e \quad (3)$$

を満たすように、第 1 直列共振周波数  $f_0$  を 4 2. 5 M H z として設定する。

## 【 0 0 6 5 】

本実施形態のプラズマ処理装置においては、第 1 実施形態と同等の効果を奏するとともに、前記プラズマチャンバ C N の前記整合回路 2 A の出力端位置 P R に、前記プラズマチャンバ C N のインピーダンス測定用端子 6 1 を設けることにより、プラズマチャンバ C N のインピーダンス特性測定時において、プロービングを容易におこなうことが可能となり、第 1 直列共振周波数  $f_0$  の測定時における作業効率を向上することができる。

## 【 0 0 6 6 】

なお、本実施形態において、インピーダンス測定用端子 6 1 が、マッチングボックス 2 を貫通せずに、インピーダンスを測定する際にプラズマ処理装置の高周波電源 1 とマッチングボックス 2 をプラズマ処理装置から取り外すように構成す

ることも可能である。

#### 【 0 0 6 7 】

以下、本発明に係るプラズマ処理装置の第 3 実施形態を、図面に基づいて説明する。

#### 〔第 3 実施形態〕

図 1 1 は本実施形態のプラズマ処理装置の概略構成を示す断面図である。

#### 【 0 0 6 8 】

本実施形態のプラズマ処理装置は、2 周波励起タイプのプラズマ処理装置とされ、図 7 ～図 9 に示した第 2 実施形態と異なるのは、測定用端子 6 1 付近の構成に関する点と、第 1 直列共振周波数  $f_0$  および直列共振周波数  $f_0'$  の設定に関する点である。それ以外の対応する構成要素には同一の符号を付してその説明を省略する。

本実施形態のプラズマ処理装置は、プラズマチャンバ（プラズマ処理室）CN の第 1 直列共振周波数  $f_0$  が、前記高周波電源 1 からプラズマチャンバ CN に供給される電力周波数  $f_e$  の 3 倍より大きな値の範囲に設定されるとともに、後述するように、電極間 4, 8 の容量  $C_e$  によって規定される直列共振周波数  $f_0'$  が、電力周波数  $f_e$  の（電極間の距離  $d$  / プラズマ非発光部の距離  $\delta$ ）の平方根倍よりも大きく設定される。

#### 【 0 0 6 9 】

本実施形態のプラズマ処理装置は、図 1 1 に示すように、整合回路 2 A の出力端位置 P R 付近に、前記整合回路 2 A と前記インピーダンス測定用端子（共振周波数測定用端子）6 1 とを切り替えるスイッチとして、整合回路 2 A と給電板 3 との間に設けられるスイッチ S W 1 と、インピーダンス測定用端子 6 1 と給電板との間に設けられるスイッチ S W 2 とが設けられている。

これらスイッチ、S W 1, S W 2 は、前記高周波電力配電体 3 端部と前記共振周波数測定用端子 6 1 との間に、プラズマを励起する際には前記配電体 3 端部と前記測定用端子 6 1 との電氣的接続を切るとともに前記配電体 3 端部と前記整合回路 2 A の出力端 P R との電氣的接続を確保し、かつ、前記プラズマ処理室 CN の共振周波数を測定する際には前記配電体 3 端部と前記測定用端子 6 1 との電気

的接続を確保するとともに前記配電体 3 と前記整合回路 2 A の出力端 P R との電氣的接続を切断するものとされている。

#### 【 0 0 7 0 】

ここで、スイッチ S W 1 , S W 2 を整合回路 2 A 側に接続した場合における整合回路 2 A の出力端位置 P R 側からのインピーダンス特性（共振周波数特性）と、スイッチ S W 1 , S W 2 を前記インピーダンス測定用端子 6 1 側に接続した場合におけるインピーダンス測定用端子 6 1 側からのインピーダンス特性（共振周波数特性）とが等しく設定さる、つまり、後述の図 1 1 に示すように、スイッチ S W 1 付近のインピーダンス  $Z_1$  とスイッチ S W 2 付近のインピーダンス  $Z_2$  とが等しく設定される。

すなわち、前記スイッチ S W 1 , S W 2 により、前記高周波配電体 3 端部と前記共振周波数測定用端子 6 1 との電氣的接続を切るとともに前記配電体 3 端部と前記整合回路 2 A の出力端 P R との電氣的接続を確保した場合における前記整合回路 2 A の出力端 P R 位置で測定する共振周波数特性と、前記スイッチ S W 1 , S W 2 により、前記配電体 3 端部と前記測定用端子 6 1 との電氣的接続を確保するとともに前記配電体 3 と前記整合回路 2 A の出力端 P R との電氣的接続を切断した場合における前記共振周波数測定用端子 6 1 で測定した共振周波数特性と、が等しく設定されてなる。

#### 【 0 0 7 1 】

これは、スイッチ S W 1 を整合回路 2 A 側に接続してスイッチ S W 2 を開いた場合における整合回路 2 A の出力端位置 P R 側つまり出力端位置 P R からスイッチ S W 2 への分岐点 B までのインピーダンス  $Z_1$  と、前記スイッチ S W 2 を前記インピーダンス測定用端子 6 1 側に接続してスイッチ S W 1 を開いた場合におけるインピーダンス測定用端子 6 1 側つまりインピーダンス測定用端子 6 1 からスイッチ S W 1 への分岐点 B までのインピーダンス  $Z_2$  とが等しく設定されるということを意味している。

インピーダンス測定用端子 6 1 には、図 8 に示した第 2 実施形態と同様に、インピーダンス測定器 A N のプローブが着脱自在に接続されてなる。このプローブには、同時に、プラズマチャンバ C N の例えばシャーシ 2 1 とされるアース位置

に着脱自在に接続されている。

#### 【0072】

ここで、本実施形態のプラズマ処理装置における第1直列共振周波数 $f_0$ は、第2実施形態と同様にして測定・定義する。本実施形態の第1直列共振周波数 $f_0$ は、具体的には図11、図12に示すように測定・定義される。

図12は図11の本実施形態のプラズマ処理装置のインピーダンス特性測定用の等価回路を示す回路図である。

#### 【0073】

本実施形態のプラズマ処理装置においては、スイッチSW1を閉じるとともに、スイッチSW2を開いた状態において、図7～図9に示した第2実施形態と同様にして、サセプタ電極8上に被処理基板16を載置し、第1、第2の高周波電源1、27からプラズマ励起電極4とサセプタ電極8の双方にそれぞれ高周波電力を印加するとともにガス導入管17からシャワープレート6を介して反応ガスをチャンバ60内に供給してプラズマを発生させ、被処理基板16に対して成膜等のプラズマ処理をおこなう。このとき、第1の高周波電源1から13.56MHz程度以上の周波数の電力、具体的には、例えば13.56MHz、27.12MHz、40.68MHz等の周波数の電力を投入する。そして、第2の高周波電源27からも第1の高周波電源1からと同等か、異なる周波数の電力、例えば1.6MHz程度の電力を投入することもできる。

#### 【0074】

本実施形態のプラズマチャンバCNの測定範囲としては、インピーダンス測定用端子61からみたプラズマチャンバCNの状態をその対象とする。これは、図11に示すように、スイッチSW1付近のインピーダンス $Z_1$ とスイッチSW2付近のインピーダンス $Z_2$ とが等しく設定されたことで、出力端位置PRからみた状態のプラズマチャンバCNの測定範囲に等しいものとなっている。

これは、インピーダンス測定時において整合回路2Aを電氣的に切り離すためには機械的に回路を着脱する必要のあった第1、第2実施形態に対して、本実施形態では、図11に示すように、スイッチSW1によって整合回路2Aを測定範囲から切り離し、測定範囲外とすることができるため、これにより、プラズマ

チャンバCNのインピーダンス特性を測定することが容易になる。

ここで、第2実施形態における測定範囲と比べるとスイッチSW2が加わっているが、これは、プラズマ発光時にはスイッチSW1は閉じた状態となっている、つまり、インピーダンス特性に対するスイッチSW1の寄与が存在していることに対応している。すなわち、このスイッチSW1付近のインピーダンス $Z_1$ と等しいインピーダンス $Z_2$ を有するスイッチSW2付近を含んで上記測定範囲とすることにより、インピーダンス測定用端子61からみたプラズマチャンバCNの測定範囲を、実際にプラズマ発光時に高周波電流の流れる回路状態に近づけてインピーダンス測定の正確性をより向上することが可能となる。

#### 【0075】

そして、スイッチSW2を閉じるとともに、スイッチSW1を開いた状態に設定して、図7～図9に示した第2実施形態と同様にして、インピーダンス測定器ANの発振する測定周波数を例えば1MHz～150MHzの範囲に変化させて、プラズマチャンバCNの上記測定範囲に対するインピーダンスのベクトル量( $Z$ ,  $\theta$ )を測定する。ここで、インピーダンス測定器ANが、インピーダンス測定用端子61に着脱自在に接続されてなることにより、プラズマチャンバCNと整合回路2Aとを着脱することなく、かつ、第2実施形態における図8に示したインピーダンス測定プローブ105を着脱することなく、スイッチSW1, SW2切り替えのみによりインピーダンス特性の測定および第1直列共振周波数 $f_0$ の測定を容易におこなうことが可能となる。

#### 【0076】

ついで、図13に示すように、測定周波数 $f$  (MHz)を横軸とし、縦軸としてインピーダンス $Z$  ( $\Omega$ )と位相 $\theta$  (deg)とを同一のグラフ上にプロットしていく。ここで、図において、左側の縦軸はインピーダンス $Z$  ( $\Omega$ )であり、右側の縦軸は位相 $\theta$  (deg)に対応している。描画されたインピーダンス特性曲線および位相曲線のうち、インピーダンスの最小値 $Z_{\min}$ の周波数、つまり、測定周波数 $f$ の低い側から数えて一番最初に位相 $\theta$ がマイナスからプラスに変化したときに、位相 $\theta$ がゼロとなる周波数を、第1直列共振周波数 $f_0$ として定義する。

## 【 0 0 7 7 】

このとき、測定される第 1 直列共振周波数  $f_0$  に対して、考慮されている電気的高周波的要因は、図 1 3 に示すように、上記測定範囲のうち、以下のものが考えられる。

スイッチ SW 2 のインダクタンス  $L_{SW}$  および抵抗  $R_{SW}$

給電板（フィード）3 のインダクタンス  $L_f$  および抵抗  $R_f$

プラズマ励起電極 4 とサセプタ電極 8 との間のプラズマ電極容量  $C_e$

整合回路 2 5 からの寄与

サセプタ電極 8 とサセプタシールド 1 2 との間の容量  $C_s$

サセプタシールド 1 2 の支持筒 1 2 B のインダクタンス  $L_C$  および抵抗  $R_C$

ベローズ 1 1 のインダクタンス  $L_B$  および抵抗  $R_B$

チャンバ壁 1 0 のインダクタンス  $L_A$  および抵抗  $R_A$

絶縁体 1 7 a を挟んでガス導入管 1 7 とプラズマ励起電極 4 との間の容量  $C_A$

プラズマ励起電極 4 とシャーシ 2 1 との間の容量  $C_B$

プラズマ励起電極 4 とチャンバ壁 1 0 との間の容量  $C_C$

## 【 0 0 7 8 】

これらの電気的高周波的要因が、プラズマ発光時に供給される高周波電流が流れる回路と同様と見なせる状態として、図 1 2 に示すように、スイッチ SW 2 のインダクタンス  $L_{SW}$  および抵抗  $R_{SW}$ 、給電板（フィード）3 のインダクタンス  $L_f$  および抵抗  $R_f$ 、プラズマ励起電極 4 とサセプタ電極 8 との間のプラズマ電極容量  $C_e$ 、サセプタ電極 8 とサセプタシールド 1 2 との間の容量  $C_s$ 、シャフト 1 3 のインダクタンス  $L_C$  および抵抗  $R_C$ 、ベローズ 1 1 のインダクタンス  $L_B$  および抵抗  $R_B$ 、チャンバ壁 1 0 のインダクタンス  $L_A$  および抵抗  $R_A$ 、が順に直列に接続されてその終端の抵抗  $R_A$  がアースされるとともに、抵抗  $R_f$  とプラズマ電極容量  $C_e$  との間に一端がアースされた状態でそれぞれ並列に接続された容量  $C_A$ 、容量  $C_B$ 、容量  $C_C$  が、等価回路を形成しており、この等価回路のインピーダンス特性を計測することで、本実施形態の第 1 直列共振周波数  $f_0$  を定義することができる。

## 【 0 0 7 9 】

このように定義された第 1 直列共振周波数  $f_0$  を、高周波電源 1 から供給される電力周波数  $f_e$  の 3 倍より大きな値の範囲に設定する。

ここで、第 1 直列共振周波数  $f_0$  を設定する方法としては、例えば、

①給電板 3 の形状長さを変化する。

②プラズマ励起電極 4 とチャンバ壁 10 とのオーバーラップ面積を減少する。

③プラズマ励起電極 4 とチャンバ壁 10 との間の絶縁材料を厚くする。

④サセプタシールド 12 とチャンバ壁 10 とを導体で短絡する。

等の手法を適用することができる。

#### 【0080】

例えば、本実施形態のプラズマ処理装置においては、電力周波数  $f_e$  を 40.68MHz に設定して、0～150MHz の範囲の測定周波数  $f$  (MHz) に対してインピーダンス  $Z$  ( $\Omega$ ) と位相  $\theta$  (deg) を測定し、図 13 に示すように、インピーダンス特性曲線および位相曲線を描画する。そして、

$$f_0 > 3 f_e \quad (4)$$

を満たすように、第 1 直列共振周波数  $f_0$  を 123.78MHz として設定する。

#### 【0081】

そして、本実施形態においては、プラズマ励起電極（電極）4 とサセプタ電極（対向電極）8 との間のプラズマ電極容量  $C_e$  によって規定される直列共振周波数  $f_0'$  を、前記電力周波数  $f_e$  の 3 倍より大きな値の範囲に設定する。

$$f_0' > 3 f_e \quad (5)$$

ここで、直列共振周波数  $f_0'$  は、上記の第 1 直列共振周波数  $f_0'$  における、インピーダンス特性の測定と同様にして、プラズマ励起電極 4，サセプタ電極 8 間のインピーダンス特性として定義されるものである。

つまりサセプタ電極 8 の一端をアースして、プラズマ励起電極 8 の一端からイ



ンピーダンス特性を測定し、測定周波数  $f$  の低い側から数えて一番最初に位相  $\theta$  がマイナスからプラスに変化したときに、位相  $\theta$  がゼロとなる周波数を、直列共振周波数  $f_0'$  として定義している。

直列共振周波数  $f_0'$  は、プラズマ励起電極 4 とサセプタ電極 8 との機械的な形状によって規定される電気的高周波的な特性であり、プラズマ励起電極 4 とサセプタ電極 8 との間のプラズマ電極容量  $C_e$  の平方根の逆数に比例する値となる。

これにより、直接プラズマを発光させる前記電極 4, 8 の周波数特性を規定できるため、プラズマ発光空間に対して電力をより効果的に投入することができ、さらなる電力消費効率の向上か、または、処理効率の向上を図ることが可能となる。

#### 【 0 0 8 2 】

さらに、本実施形態においては、プラズマ励起電極 4 とサセプタ電極 8 との間のプラズマ電極容量  $C_e$  によって規定される直列共振周波数  $f_0'$  を、前記電力周波数  $f_e$  に対して、上記 (1) 式なる関係を満たすように設定する。

#### 【 0 0 8 3 】

図 1 4 は、プラズマ発光状態における電極間の状態を示す模式図である。

図 1 4 に示すように、この対向する平行平板型とされるプラズマ励起電極 4, サセプタ電極 8 間の距離を  $d$  とし、この電極 4, 8 間の距離方向においてそれぞれの電極 4, 8 と発光時のプラズマとの距離の和を  $\delta$  とする。つまり、プラズマ発光時に目視できるプラズマ発光領域  $P$  とプラズマ励起電極 4 との間のプラズマ発光していない部分の距離を  $\delta_a$ 、プラズマ発光領域  $P$  とサセプタ電極 8 との間のプラズマ発光していない部分の距離を  $\delta_b$  としたときに、式 (6) に示すようにこれらの和を  $\delta$  とする。

$$\delta_a + \delta_b = \delta \quad (6)$$

ここで、電極 4, 8 間の距離  $d$  と、電極 4, 8 間においてプラズマの発光していない部分の距離の和  $\delta$  とから、実際にプラズマ発光状態における電極 4, 8 間のモデル的な容量  $C_0''$  が求められる。

## 【 0 0 8 4 】

プラズマ発光時における平行平板電極 4, 8 は、その間にあるプラズマ発光領域 P が導体として見なせるため、あたかも、電極 4, 8 間の距離が  $\delta$  になったようにみなすことができる。その結果、プラズマ発光時の平行平板電極 4, 8 間の容量  $C_0''$  は、電極 4, 8 間の距離に反比例するため、非プラズマ発光時に容量  $C_0$  だったものが、プラズマ発光時には見かけ上  $d/\delta$  倍になる。

$$\begin{aligned} C_0 &\propto 1/d \\ C_0'' &\propto 1/\delta \\ \therefore C_0'' &\propto d/\delta \cdot C_0 \end{aligned} \quad (7)$$

## 【 0 0 8 5 】

そして、前記直列共振周波数  $f_0'$  は容量  $C_0$  の平方根の逆数に比例するため、プラズマ発光時における電極 4, 8 間の直列共振周波数  $f_0''$  は容量  $C_0''$  の平方根の逆数に比例する、つまり、 $d/\delta$  の平方根の逆数に比例する。

$$\begin{aligned} f_0' &\propto 1/\sqrt{C_0} \\ f_0'' &\propto 1/\sqrt{C_0''} \\ \therefore f_0'' &\propto (d/\delta)^{-1/2} \cdot f_0' \end{aligned} \quad (8)$$

## 【 0 0 8 6 】

このプラズマ発光時における電極 4, 8 間の直列共振周波数  $f_0''$  と前記電力周波数  $f_e$  との関係を第 1 直列共振周波数  $f_0$  と電力周波数  $f_e$  との関係のように設定する。

$$f_0'' > f_e \quad (9)$$

この式 (9) を式 (8) によって書き直すと、上記式 (1) となる。

前記直列共振周波数  $f_0'$  と前記電力周波数  $f_e$  とが、上記式 (1) なる関係を

満たしてなることにより、上記のプラズマ発光時におけるモデル的な容量 $C_0$ から規定される直列共振周波数 $f_0$ の値と、非プラズマ発光時における電極4, 8間の容量から規定される直列共振周波数 $f_0'$ の値との関係を設定することができる。したがって、直列共振周波数 $f_0'$ の $d/\delta$ の平方根の逆数倍の値が、電力周波数 $f_e$ よりも大きく設定されることにより、プラズマ発光時における電極4, 8の直列共振周波数 $f_0'$ を電力周波数 $f_e$ に対して設定し、プラズマ発光時の電力消費効率の向上を図ることが可能となる。

## 【0087】

本実施形態のプラズマ処理装置においては、第1実施形態と同等の効果を奏するとともに、インピーダンス測定用端子61にインピーダンス測定器を着脱自在に接続するとともに、スイッチSW1, SW2を設け、これらのインピーダンス $Z_1$ とインピーダンス $Z_2$ とを等しく設定することで、プラズマチャンバCNと整合回路2Aとを着脱することなく、かつ、インピーダンス測定用プローブ105を着脱することなく、スイッチSW1, SW2切り替えのみによりインピーダンス特性の測定および第1直列共振周波数 $f_0$ の測定を容易におこなうことが可能となり、同時に、インピーダンス測定端子61に接続されたインピーダンス測定器ANからのインピーダンス測定値を、整合回路2A出力側最終段の出力位置PRから測定した値と同等と見なすことができるため、第1直列共振周波数 $f_0$ の算出の補正が不要となり、実測値の換算が不要となり、作業効率を向上し、第1直列共振周波数 $f_0$ の測定をより正確におこなうことができる。

さらに、前記直列共振周波数 $f_0'$ と前記電力周波数 $f_e$ との値を設定することにより、直接プラズマを発光させる前記電極4, 8の周波数特性を規定できるため、プラズマ発光空間に対して電力をより効果的に投入することができ、さらなる電力消費効率の向上か、または、処理効率の向上を図ることが可能となる。

## 【0088】

なお、本実施形態において、2つのスイッチSW1およびスイッチSW2を設ける構成としたが、分岐点から出力端位置PRまでと分岐点からプローブまでのインピーダンスが等しく設定されていれば、よく、例えば1つのスイッチによりこれらの接続を切り替え可能とすることもできる。

## 【0089】

さらに、本発明における上記の各実施形態においては、プラズマ励起電極4に対する電力周波数 $f_e$ と第1直列共振周波数 $f_0$ とを設定したが、サセプタ電極側8に対する周波数を設定するよう対応することも可能である。この場合、図7、図11にPR'で示すように、インピーダンス測定範囲を規定する整合回路25の出力端位置を設定することができる。

さらに、平行平板型の電極4、8を有するタイプに変えて、ICP (inductive coupled plasma) 誘導結合プラズマ励起型、RLSA (radial line slot antenna) ラジアルラインスロットアンテナ型などのプラズマ処理装置や、RIE (Reactive Ion Etching) 反応性スパッタエッチング用の処理装置に適用することもできる。

なお、電極4、8に替えて、ターゲット材を取り付けることにより、プラズマ処理としてスパッタリングをおこなうことも可能である。

## 【0090】

以下、本発明に係るプラズマ処理装置の性能確認システムの他の実施形態を、図面に基づいて説明する。なお、以下の説明では、購入発注者を単に発注者、また販売保守者を単に保守者という。

図20は本実施形態のプラズマ処理装置の性能確認システムのシステム構成図である。

## 【0091】

この図において、参照符号C1、C2、……はクライアント・コンピュータ（以下、単にクライアントという）、Sはサーバ・コンピュータ（性能状況情報提供手段、以下単にサーバという）、Dはデータベース・コンピュータ（基準情報記憶手段、以下単にデータベースという）、またNは公衆回線である。クライアントC1、C2、……とサーバSとデータベースDとは、この図に示すように公衆回線Nを介して相互に接続されている。

## 【0092】

クライアントC1、C2、……は、一般に広く普及しているインターネットの通信プロトコル（TCP/IP等）を用いてサーバSと通信する機能（通信機能

）を備えたものである。このうち、クライアントC1（発注者側情報端末）は、発注者が保守者に発注したプラズマチャンバCNの性能状況を公衆回線Nを介して確認するためのコンピュータであり、サーバSが保持する「プラズマチャンバCNの性能情報提供ページ」を情報提供ページ（Webページ）として閲覧する機能（プラズマチャンバCNの性能状況情報閲覧機能）を備えたものである。また、クライアントC2（保守者側情報端末）は、保守者が上記「性能状況情報」の一部である「第1直列共振周波数 $f_0$  情報」をサーバSにアップロードするとともに、クライアントC1を介して発注者から発せられた電子メールを受信するためのものである。

## 【0093】

上記サーバSの通信機能は、公衆回線Nがアナログ回線の場合にはモデムによって実現され、公衆回線NがISDN（Integrated Services Digital Network）等のデジタル回線の場合には専用ターミナルアダプタ等によって実現される。

サーバSは、性能状況情報提供用のコンピュータであり、上記クライアントC1から受信される閲覧要求に応じて、性能状況情報をインターネットの通信プロトコルを用いてクライアントC1に送信する。ここで、上述した発注者が保守者からプラズマ処理装置を納入された時点では、性能状況情報を閲覧するための個別の「閲覧専用パスワード」が保守者から個々の発注者に提供されるようになっている。このサーバSは、正規な閲覧専用パスワードが提供された場合のみ、性能状況情報のうち動作保守状況情報をクライアントC1に送信するように構成されている。

## 【0094】

ここで、具体的詳細については後述するが、上記「性能状況情報」は、保守者の販売するプラズマ処理装置（プラズマチャンバCN）の機種に関する情報、各機種における仕様書としての品質性能情報、納入された各実機における品質性能を示すパラメータの情報、および、このパラメータ、メンテナンスの履歴情報等から構成されている。

このうち、各実機における品質性能、パラメータ、メンテナンスの履歴情報については、「閲覧専用パスワード」が提供された発注者のみに閲覧可能となって

いる。

【0095】

また、これら「性能状況情報」は、保守者または発注者からサーバSに提供されるとともに実際の動作・保守状況を示す「動作保守状況情報」と、データベースDに蓄積されると共にカタログとして未購入のクライアントが閲覧可能な「性能基準情報」とから構成されるものである。「性能基準情報」は、保守者がプラズマチャンバCNによっておこなうプラズマ処理に対して客観的に性能を記述するためのものであり、プラズマCVD、スパッタリングなどの成膜処理においては、成膜状態を予測可能とするものである。

【0096】

本実施形態では、これら「性能基準情報」は、データベースDに蓄積されるようになっている。

サーバSは、クライアントC1 から受信される「性能状況情報」の閲覧要求に対して、データベースDを検索することにより必要な「性能基準情報」を取得して、「性能状況情報提供ページ」として発注者のクライアントC1 に送信するように構成されている。また、サーバSは、「閲覧専用パスワード」が提供された発注者から受信される「性能状況情報」の閲覧要求に対しては、同様に、データベースDを検索することにより必要な「性能基準情報」を取得するとともに、当該「性能基準情報」にクライアントC2 を介して保守者から提供された「動作保守状況情報」を組み合わせる「性能状況情報」を構成し、「性能状況情報提供ページ」として発注者のクライアントC1 に送信するように構成されている。

【0097】

データベースDは、このような「性能状況情報」を構成する「性能基準情報」をプラズマチャンバCNの機種毎に記憶蓄積するものであり、サーバSから受信される検索要求に応じてこれら「性能基準情報」を読み出してサーバSに転送する。図20では1つのサーバSのみを示しているが、本実施形態では、汎用性のある「性能基準情報」を保守者が複数箇所から管理する複数のサーバ間で共通利用することが可能なように、これらサーバとは個別のデータベースDに「性能基準情報」を蓄積するようにしている。

## 【 0 0 9 8 】

次に、このように構成されたプラズマチャンバCNの性能確認システムの動作について、図21に示すフローチャートに沿って詳しく説明する。なお、このフローチャートは、上記サーバSにおける「性能状況情報」の提供処理を示すものである。

## 【 0 0 9 9 】

通常、保守者は、不特定の発注者に対して販売するプラズマチャンバCNの「性能状況情報」、特に「性能基準情報」を購入時の指標として提示することになる。一方、発注者は、この「性能基準情報」によってプラズマチャンバCNにどのような性能、つまりどのようなプラズマ処理が可能なのかを把握することができる。

## 【 0 1 0 0 】

また、保守者は、特定の発注者に対して納入したプラズマチャンバCNの「性能状況情報」のうち、「性能基準情報」を使用時の指標として提示するとともに、「動作保守状況情報」を動作状態のパラメータとして提示することになる。一方、ユーザーとしての発注者は、「性能基準情報」と「動作保守状況情報」とを比較することによってプラズマチャンバCNの動作確認をおこなうとともにメンテナンスの必要性を認識し、かつ、プラズマ処理状態の状態を把握することができる。

## 【 0 1 0 1 】

例えば、プラズマチャンバCNを保守者から購入しようとする発注者は、サーバSにアクセスすることにより、以下のようにして自らが購入しようとするプラズマチャンバCNの「性能状況情報」の実体を容易に確認することができる。

## 【 0 1 0 2 】

まず、発注者がアクセスしようとした場合には、予め設定されたサーバSのIPアドレスに基づいてクライアントC1からサーバSに表示要求が送信される。

一方、サーバSは、上記表示要求の受信を受信すると（ステップS1）、カタログページCPをクライアントC1に送信する（ステップS2）。

図22は、このようにしてサーバSからクライアントC1に送信されたメイン

ページCPの一例である。このカタログページCPには、保守者が販売する多数の機種毎にその「性能状況情報」のうち「性能基準情報」を表示するための機種選択ボタンK1, K2, K3, K4…、と、後述するように、プラズマチャンバCNを保守者から納入された発注者の使用するカスタマーユーザ画面の表示要求をするためのカスタマーユーザボタンK4から構成されている。

## 【0103】

例えば、発注者がクライアントC1に備えられたポインティングデバイス（例えばマウス）等を用いることによって上記プラズマチャンバCNの機種を選択指定した後、機種選択ボタンK1～K4…のいずれかを選択指定すると、この指示は、「性能状況情報」のうち「性能基準情報」の表示要求としてサーバSに送信される。

## 【0104】

この表示要求を受信すると（ステップS3）、サーバSは、選択された機種のうち、表示要求された情報に該当するサブページをクライアントC1に送信する。すなわち、サーバSは、「性能基準情報」の表示が要求された場合（A）、図23に示すような選択された機種を指定することによってデータベースDから「真空性能」「給排気性能」「温度性能」「プラズマ処理室電気性能」等のデータを取得し、これらの掲載された仕様書ページCP1をクライアントC1に送信する（ステップS4）。

## 【0105】

仕様書ページCP1には、図23に示すように、選択された機種を示す機種種別K6、真空性能表示欄K7、給排気性能表示欄K8、温度性能表示欄K9、プラズマ処理室電気性能表示欄K10から構成されている。これらは、選択された機種の「性能基準情報」に対応するものであり、それぞれ、

真空性能表示欄K7には、

到達真空度  $1 \times 10^{-4}$  Pa以下

操作圧力 30～300 Pa

給排気性能表示欄K8には、

最大ガス流量  $\text{SiH}_4$  100 SCCM



$\text{NH}_3$  5 0 0 \text{ SCCM}

$\text{N}_2$  2 0 0 0 \text{ SCCM}

排気特性 5 0 0 \text{ SCCM} 流して 2 0 \text{ Pa} 以下

温度性能表示欄 K 9 には、

ヒータ設定温度 2 0 0 ~ 3 5 0 ± 1 0 °C

チャンバ設定温度 6 0 ~ 8 0 ± 2 . 0 °C

の項目が記載されている。

ここで、SCCM (standard cubic centimeters per minute) は、標準状態 (0 °C、1 0 1 3 \text{ hPa}) に換算した際におけるガス流量を表しており、 $\text{cm}^3/\text{min}$  に等しい単位を表している。

#### 【0 1 0 6】

また、プラズマ処理室電気性能表示欄 K 1 0 には、前述した第 1 ~ 第 3 実施形態で説明した第 1 直列共振周波数  $f_0$  の値、および、この設定範囲と電力周波数  $f_e$  との関係が記載される。また、これ以外にも、電力周波数  $f_e$  におけるプラズマチャンバ CN のレジスタンス R およびリアクタンス X、そして、プラズマ励起電極 4 とサセプタ電極 8 間のプラズマ容量  $C_0$  プラズマ励起電極 4 と、プラズマチャンバの接地電位とされる各部との間のロス容量  $C_X$  等の値が記載される。また、仕様書ページ CP 1 には、「プラズマチャンバ CN の納入時には各パラメータ値がこのページに記載された設定範囲内にあることを保証します」という性能保証の文言が記載される。

#### 【0 1 0 7】

これにより、従来は、考慮されていなかったプラズマチャンバ CN の全体的な電気的高周波的な特性を購入時の新たな指標として提示することができる。また、クライアント C1 またはクライアント C2 において、これら性能状況情報をプリンタ等に出力しハードコピーを作ることにより、上記の性能状況情報内容の記載されたカタログまたは仕様書として出力することが可能である。さらに、第 1 直列共振周波数  $f_0$ 、レジスタンス R、リアクタンス X、容量  $C_0$ 、 $C_X$  等の値および上記性能保証の文言をクライアント C1 … の端末、カタログまたは仕様書等に提示することにより、発注者が、電機部品を吟味するようにプラズマチャン

バCNの性能を判断して保守者から購入することが可能となる。

【0108】

なお、サーバSは、このようなサブページのクライアントC1 への送信が完了した後に、クライアントC1 から接続解除要求が受信されない場合は（ステップS5）、次のサブページの表示要求を待つ待機し（ステップS3）、一方、クライアントC1 から接続解除要求が受信された場合には（ステップS5）、当該クライアントC1 との交信を終了する。

【0109】

また、プラズマチャンバCNを保守者から納入した発注者は、サーバSにアクセスすることにより、以下のようにして自らが購入したプラズマチャンバCNの「性能状況情報」の実体を容易に確認することができる。

この発注者は保守者と売買契約を締結した時点で、発注者個別に対応するとともに、購入したプラズマチャンバCNの機種番号にも対応したカスタマーユーザIDと、プラズマチャンバCNの「動作保守状況情報」を閲覧するための個別の「ユーザー専用パスワード（閲覧専用パスワード）」が保守者から個々の発注者に提供されるようになっている。このサーバSは、正規な閲覧専用パスワードが提供された場合のみ、「動作保守状況情報」をクライアントC1 に送信するように構成されている。

【0110】

まず、発注者がアクセスしようとした場合には、前述のカタログページCPにおいて、カスタマーユーザボタンK5を指定操作することにより、発注者はカスタマーユーザ画面の表示要求をサーバSに送信する。

一方、サーバSは、上記表示要求の受信を受信すると（ステップS3-B）、当該発注者に対して、「閲覧専用パスワード」の入力を促す入力要求としてのサブページをクライアントC1 に送信する（ステップS6）。図24はカスタマーユーザページCP2を示すものであり、このカスタマーユーザページCP2はカスタマーユーザID入力欄K11、およびパスワード入力欄K12から構成される。

【0111】

この入力要求としてのカスタマーユーザページCP2はクライアントC1に表示されるので、発注者は、当該入力要求に応答してプラズマチャンバCNの識別を可能とするために、保守者から供与された「閲覧専用パスワード」を「カスタマーユーザID」とともにクライアントC1に入力することになる。

ここで、発注者は、図24に示すカスタマーユーザID入力欄K11およびパスワード入力欄K12に、それぞれ、カスタマーコードIDとパスワードを入力する。サーバSは、クライアントC1から正規の「カスタマーユーザID」および「閲覧専用パスワード」が受信された場合のみ（ステップS7）、当該「閲覧専用パスワード」に予め関連付けられた「動作保守状況情報」のサブページをクライアントC1に送信する（ステップS9）。

#### 【0112】

すなわち、「動作保守状況情報」の閲覧は、上記プラズマチャンバCNの購入契約を締結した特定の発注者のみ、つまり正規の「閲覧専用パスワード」を知り得るもののみに許可されるようになっており、当該発注者以外の第3者がサーバSにアクセスしても「動作保守状況情報」を閲覧することができない。通常、保守者は同時に多数の発注者との間で納入契約を締結するとともに、各々の発注者へ複数のプラズマチャンバCNの納入を同時に並行して行う場合があるが、上記「閲覧専用パスワード」は、個々の発注者毎および各プラズマチャンバCN毎に相違するものが提供されるので、個々の発注者は、各プラズマチャンバCNに対して、それぞれ自らに提供された「閲覧専用パスワード」に関連付けられた「動作保守状況情報」を個別に閲覧することができる。

#### 【0113】

したがって、納入に係わる秘密情報が発注者相互間で漏洩することを確実に防止することができるとともに、複数のプラズマチャンバCNが納入された場合にもそれぞれのプラズマチャンバCNを個別に識別可能とすることができる。なお、サーバSは、正規の「閲覧専用パスワード」が受信されない場合には（ステップS7）、接続不許可メッセージをクライアントC1に送信して（ステップS8）、発注者に「閲覧専用パスワード」を再度入力するように促す。発注者が「閲覧専用パスワード」を誤入力した場合には、この機会に正規の入力を行うこと

により「動作保守状況情報」を閲覧することができる。

【0114】

このID、パスワードが確認されると（ステップS7）、サーバSは、表示要求された情報に該当するサブページをデータベースDから読み出してクライアントC1に送信する。すなわち、サーバSは、ユーザIDによって識別された個別のプラズマチャンバCNに対する「性能基準情報」「動作保守状況情報」の表示が要求された場合、機種を指定することによってデータベースDから「真空性能」「給排気性能」「温度性能」「プラズマ処理室電気性能」等のデータを取得し、これらの掲載された仕様書ページCP3をクライアントC1に送信する（ステップS9）。

図25は、このようにしてサーバSからクライアントC1に送信された「作保守状況情報」のサブページCP3である。このメンテナンス履歴ページCP3には、図25に示すように、納入された機械番号を示すロット番号表示K13、真空性能表示欄K7、給排気性能表示欄K8、温度性能表示欄K9、プラズマ処理室電気性能表示欄K10、そして、真空性能メンテナンス欄K14、給排気性能メンテナンス欄K15、温度性能メンテナンス欄K16、プラズマ処理室電気性能メンテナンス欄K17から構成されている。これらは、納入された実機の「性能基準情報」および「動作保守状況情報」に対応するものであり、それぞれ、真空性能表示欄K7、真空性能メンテナンス欄K14には、

到達真空度  $1.3 \times 10^{-5} \text{ Pa}$  以下

操作圧力  $200 \text{ Pa}$

給排気性能表示欄K8、給排気性能メンテナンス欄K15には、

ガス流量  $\text{SiH}_4$   $40 \text{ SCCM}$

$\text{NH}_3$   $160 \text{ SCCM}$

$\text{N}_2$   $600 \text{ SCCM}$

排気特性  $6.8 \times 10^{-7} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 / \text{sec}$

温度性能表示欄K9、温度性能メンテナンス欄K16には、

ヒータ設定温度  $302.3 \pm 4.9^\circ \text{C}$

チャンバ設定温度  $80.1 \pm 2.1^\circ \text{C}$

の項目が記載されている。

【0115】

また、プラズマ処理室電気性能表示欄K10およびプラズマ処理室電気性能メンテナンス欄K17には、前述した第1～第3実施形態で説明したように、第1直列共振周波数 $f_0$ の値、および、この設定範囲と電力周波数 $f_e$ との関係が記載される。また、これ以外にも、電力周波数 $f_e$ におけるプラズマチャンバCNのレジスタンスRおよびアクタンスX、そして、プラズマ励起電極4とサセプタ電極8間のプラズマ容量 $C_0$ 、プラズマ励起電極4と、プラズマチャンバの接地電位とされる各部との間のロス容量 $C_X$ 等の値が記載される。

【0116】

各メンテナンス履歴K14、K15、K16、K17は、それぞれのパラメータの値、およびこれらの値を測定、調整した日時等を登録するようになっており、これらは、保守者または発注者が、納入からの日時に応じて実機毎に「動作保守状況情報」をサーバSに順次アップロードするようになっており、サーバSは、当該「動作保守状況情報」が受信されると該当データを順次登録するとともにアップロード日を「掲載日」として順次登録する。

【0117】

同時に、データベースDから「性能基準情報」としての「真空性能」「給排気性能」「温度性能」「プラズマ処理室電気性能」等のデータを取得し、これらを図25に示すように、「動作保守状況情報」とセットでメンテナンス履歴ページCP3に表示することにより、「性能基準情報」を参照して「動作保守状況情報」を閲覧することができ、これにより、発注者は、納入されたプラズマチャンバCNの「性能状況情報」のうち、「性能基準情報」を使用時の指標として確認するとともに、「動作保守状況情報」を動作状態を示すパラメータとして検討することができる。同時に、「性能基準情報」と「動作保守状況情報」とを比較することによってプラズマチャンバCNの動作確認をおこなうとともにメンテナンスの必要性を認識し、かつ、プラズマ処理状態の状態を把握することができる。

【0118】

なお、サーバSは、このようなサブページCP3のクライアントC1への送信

が完了した後に、クライアントC1 から接続解除要求が受信されない場合は（ステップS5）、接続不許可メッセージをクライアントC1 に送信して（ステップS8）、発注者に「閲覧専用パスワード」を再度入力するか、次のサブページの表示要求を待って待機し（ステップS3）、一方、クライアントC1 から接続解除要求が受信された場合には（ステップS5）、当該クライアントC1 との通信を終了する。

## 【0119】

本実施形態のプラズマチャンバCNの性能確認システムにおいて、購入発注者が販売保守者に発注した請求項1記載のプラズマチャンバCNの動作性能状況を示す性能状況情報の閲覧を公衆回線を介して要求する購入発注者側情報端末と、販売保守者が前記性能状況情報をアップロードする販売保守者側情報端末と、前記購入発注者側情報端末の要求に応答して、販売保守者側情報端末からアップロードされた性能状況情報を購入発注者側情報端末に提供する性能状況情報提供手段と、を具備することができ、さらに、前記性能状況情報が、前記第1直列共振周波数 $f_0$ を含むとともに、前記性能状況情報が、カタログまたは仕様書として出力されることにより、販売保守者がアップロードしたプラズマチャンバCNの性能基準情報および動作保守状況情報からなる性能状況情報に対して、購入発注者が情報端末から公衆回線を介して閲覧を可能とすることにより、発注者に対して、購入時に判断基準となる情報を伝達することが可能となり、かつ、使用時における、プラズマチャンバCNの動作性能・保守情報を容易に提供することが可能となる。

また、前記性能状況情報が、上述したようにプラズマチャンバCNに対する性能パラメータとしての前記第1直列共振周波数 $f_0$ を含むことにより、発注者のプラズマチャンバCNに対する性能判断材料を提供できるとともに、購入時における適切な判断をすることが可能となる。さらに、前記性能状況情報を、カタログまたは仕様書として出力することができる。

## 【0120】

## 〔実施例〕

本発明では、第1直列共振周波数 $f_0$ を変化させることによる成膜時における

膜特性の変化を測定した。

ここで、実際に使用したプラズマ処理装置は、2周波励起タイプのものとされ、その電気的高周波的な特性としては、図15に示すような等価回路を有するものとする。ここで、インダクタンス $L_S$ は、図12に示すシャフト13のインダクタンス $L_C$ 、ベローズ11のインダクタンス $L_B$ 、チャンバ壁10のインダクタンス $L_A$ を合成したものであり、抵抗 $R_S$ は、図12に示すシャフト13の抵抗 $R_C$ 、ベローズ11の抵抗 $R_B$ 、チャンバ壁10の抵抗 $R_A$ を合成したものであり、容量 $C_x$ は、図12に示す絶縁体17aを挟んでガス導入管17とプラズマ励起電極4との間の容量 $C_A$ 、プラズマ励起電極4とシャーシ21との間の容量 $C_B$ 、プラズマ励起電極4とチャンバ壁10との間の容量 $C_C$ を合成したものである。

#### 【0121】

##### (比較例)

電力周波数 $f_e$ を40.68MHzに設定し、第1直列共振周波数 $f_0$ を11.63MHzに設定した比較例について、上記の図15に示す等価回路の各要素として、給電板3のインダクタンス $L_f$ および抵抗 $R_f$ 、プラズマ励起電極4とサセプタ電極8との間のプラズマ電極容量 $C_e$ 、サセプタ電極8とサセプタシールド12（アース）との間の容量 $C_S$ 、シャフト13、ベローズ11、チャンバ壁10のインダクタンス $L_S$ および抵抗 $R_S$ 、プラズマ励起電極4とアース間の容量 $C_x$ を実測した。

これらの値を表1に示す。

#### 【0122】

##### (実施例1)

比較例のプラズマ処理装置に対して、給電板3の長さを改善して、第1直列共振周波数 $f_0$ を13.82MHzに設定し、 $3f_0 > f_e$ としたものを実施例1とする。

##### (実施例2)

実施例1に対して給電板3をさらに改善するとともにプラズマ励起電極8とチャンバ壁とのオーバーラップ面積を改善して、第1直列共振周波数 $f_0$ を30.

0 1 M H z に設定し、 $3 f_0 > f_e$ としたものを実施例 2 とする。

(実施例 3)

実施例 2 に対しプラズマ励起電極 8 とチャンバ壁 1 0 との絶縁物を厚くして、第 1 直列共振周波数  $f_0$  を 3 3 . 5 7 M H z に設定し、 $1 . 3 f_0 > f_e$ としたものを実施例 3 とする。

(実施例 4)

実施例 3 に対し給電板 3 をなくし、整合回路 2 A のチューニングコンデンサ 2 4 をプラズマ励起電極 8 に直結するとともに、サセプタシールド 1 2 のシールド支持板 1 2 A 先端側とチャンバ壁 1 0 とを短絡して、第 1 直列共振周波数  $f_0$  を 1 2 3 . 7 8 M H z に設定し、 $f_0 > 3 f_e$ としたものを実施例 4 とする。

なお、いずれの実施例も電力周波数  $f_e$  を 4 0 . 6 8 M H z に設定した。

これらの値を表 1 に示する。

【 0 1 2 3 】



【表 1】

	比較例	実施例 1	実施例 2	実施例 3	実施例 4
第 1 直列共振周波数 $f_0$ (MHz)	11.63	13.82	30.01	33.57	123.78
給電板 3 のインダクタンス $L_1$ (nH) 抵抗 $R_1$ ( $\Omega$ )	184 4	130 3	92 3	92 3	2 1
電極間の容量 $C_g$ (pF)	37	37	37	37	37
サセプタ電極 8 アース間の容量 $C_s$ (pF)	2250	2250	2250	2250	2250
チャンバ壁等のインダクタンス $L_s$ (nH) 抵抗 $R_s$ ( $\Omega$ )	268 2	268 2	268 2	268 2	43 1
プラズマ励起電極 4 アース間の容量 $C_s$ (pF)	980	980	250	180	180

【0 1 2 4】

さらに、これら実施例および比較例に対する評価として、800W、400W  
の条件で  $\text{SiN}_x$  膜の成膜をおこない、この  $\text{SiN}_x$  膜に対する評価として、以

下のようにおこなった。

(1) 堆積速度と膜面内均一性

- ①ガラス基板上にプラズマCVDにより $\text{SiN}_x$ 膜を成膜する。
- ②フォトリソによりレジストのパターニングをおこなう。
- ③ $\text{SF}_6$ と $\text{O}_2$ を用いて $\text{SiN}_x$ 膜をドライエッチングする。
- ④ $\text{O}_2$ アッシングによりレジストを剥離する。
- ⑤ $\text{SiN}_x$ 膜の膜厚段差を触針式段差計により計測する。
- ⑥成膜時間と膜厚から堆積速度を算出する。
- ⑦膜面内均一性は、6インチガラス基板面内において16ポイントで測定する。

(2) BHFエッチングレート

上記(1)①～②と同様にレジストマスクをパターニングする。

- ③25℃のBHF液( $\text{HF}:\text{NH}_4\text{F}=1:10$ の混合液)に1分間ガラス基板を浸漬する。
- ④純水洗浄後乾燥し、レジストを硫酸過水( $\text{H}_2\text{SO}_4+\text{H}_2\text{O}_2$ )で剥離する。
- ⑤上記(1)⑤と同様段差を計測する。
- ⑥浸漬時間と段差からエッチング速度を算出する。

【0125】

さらに、これら実施例および比較例に対する評価として、800W、400Wの条件で $\text{SiN}_x$ 膜の成膜をおこない、この $\text{SiN}_x$ 膜に対する評価を以下のようにおこなった。

(3) 絶縁耐圧

- ①ガラス基板上にスパッタリングによりクロム膜を成膜し、下部電極としてパターニングする。
- ②プラズマCVDにより $\text{SiN}_x$ 膜を成膜する。
- ③①と同様の方法でクロムからなる上部電極を形成する。
- ④下部電極用にコンタクト孔を形成する。
- ⑤上下電極にプロービングし、I-V特性(電流電圧特性)を測定する。このとき最大電圧として200V程度まで印加する。
- ⑥電極面積を100 $\mu\text{m}$ 角とし、100pAをよぎるところが、 $1\mu\text{A}/\text{cm}^2$

に相当するので、この時のVを絶縁耐圧として定義する。

これらの結果を、表2に示す。

【0126】

【表2】

	比較例	実施例1	実施例2	実施例3	実施例4
電源出力(W)	800	800	800	800	400
堆積速度(nm/分)	30	100	100	100	100
	100	450	450	550	550
膜面内均一性(%)	>±10	~±10	~±10	±5	±5
BHFエッチングレート(nm/分)	>200	~200	~200	~50	~50
絶縁耐圧(MV/cm)	~4	~7	~7	~9	~9

【0127】

これらの結果から、第1直列共振周波数  $f_0$  の値と、堆積速度、膜面内均一性、BHFエッチングレート、絶縁耐圧について、 $3f_0 > f_e$ とした場合には、堆積速度、絶縁耐圧が改善され、 $1.3f_0 > f_e$ とした場合には、堆積速度、絶縁耐圧がさらに改善されるとともに、膜面内均一性、BHFエッチングレートが改善されていることがわかる。さらに、 $f_0 > 3f_e$ とした場合には、半分の出力の400Wで、同様の膜特性を有する成膜をおこなうことが可能となっていることがわかる。

つまり、第1直列共振周波数  $f_0$  の値を設定することにより、プラズマ処理装置の性能が向上している。

【0128】

【発明の効果】

本発明のプラズマ処理装置およびプラズマ処理装置の性能確認システムによれば、プラズマ処理室の第1直列共振周波数  $f_0$ 、直列共振周波数  $f_0'$  を設定することにより、プラズマ励起周波数の高周波化による処理速度、被処理基体面内方向におけるプラズマ処理の均一性、被成膜における膜特性、電力の消費効率、生産性の向上を図ることができ、適正な動作状態に簡便に維持可能なプラズマ処理装置を提供することができるという効果、および、購入時における発注者のプラズマ処理装置に対する性能判断材料を提供することが可能となり、さらに、前記性能状況情報を、カタログまたは仕様書として出力することができるという効果を奏する。

【図面の簡単な説明】

【図1】 図1は、本発明に係るプラズマ処理装置の第1実施形態を示す概略構成図である。

【図2】 図2は、図1におけるプラズマ処理装置の整合回路を示す模式図である。

【図3】 図3は、本発明に係るプラズマ処理装置の第1実施形態におけるプラズマ処理装置のインピーダンス特性を説明するための模式図である。

【図4】 図4は、図3におけるプラズマ処理装置の等価回路を示す回路

図である。

【図 5】 図 5 は、第 1 直列共振周波数  $f_0$  を説明するためのインピーダンス  $Z$  と位相  $\theta$  との周波数依存特性を示すグラフである。

【図 6】 図 6 は、本発明に係るプラズマ処理装置の第 1 実施形態における第 1 直列共振周波数  $f_0$  およびインピーダンス  $Z$  と位相  $\theta$  との周波数依存特性を示すグラフである。

【図 7】 図 7 は、本発明に係るプラズマ処理装置の第 2 実施形態を示す概略構成図である。

【図 8】 図 8 は、本発明に係るプラズマ処理装置の第 2 実施形態におけるプラズマ処理装置のインピーダンス特性を説明するための模式図である。

【図 9】 図 9 は、図 8 におけるプラズマ処理装置の等価回路を示す回路図である。

【図 10】 図 10 は、本発明に係るプラズマ処理装置の第 2 実施形態における第 1 直列共振周波数  $f_0$  およびインピーダンス  $Z$  と位相  $\theta$  との周波数依存特性を示すグラフである。

【図 11】 図 11 は、本発明に係るプラズマ処理装置の第 3 実施形態を示す概略構成図である。

【図 12】 図 12 は、図 11 におけるプラズマ処理装置の等価回路を示す回路図である。

【図 13】 図 13 は、本発明に係るプラズマ処理装置の第 3 実施形態における第 1 直列共振周波数  $f_0$  およびインピーダンス  $Z$  と位相  $\theta$  との周波数依存特性を示すグラフである。

【図 14】 図 14 は、プラズマ発光状態における電極間の状態を示す模式図である。

【図 15】 図 15 は、本発明に係るプラズマ処理装置の実施例における等価回路を説明する回路図である。

【図 16】 図 16 は、インピーダンス測定器のプロープを示す斜視図である。

【図 17】 図 17 は、図 16 のインピーダンス測定器のプロープの接続

状態を示す模式図である。

【図 1 8】 図 1 8 は、 従来のプラズマ処理装置の一例を示す模式図である。

【図 1 9】 図 1 9 は、 従来のプラズマ処理装置の他の例を示す模式図である。

【図 2 0】 図 2 0 は、 本発明のプラズマ処理装置の性能確認システムを示すシステム構成図である。

【図 2 1】 図 2 1 は、 本発明のプラズマ処理装置の性能確認システムに係わるサーバ S の建築状況情報の提供処理を示すフローチャートである。

【図 2 2】 図 2 2 は、 本発明のプラズマ処理装置の性能確認システムに係わるメインページ C P の構成を示す平面図である。

【図 2 3】 図 2 3 は、 本発明のプラズマ処理装置の性能確認システムに係わるサブページ C P 1 の構成を示す平面図である。

【図 2 4】 図 2 4 は、 本発明のプラズマ処理装置の性能確認システムに係わるメインページ C P 2 の構成を示す平面図である。

【図 2 5】 図 2 5 は、 本発明のプラズマ処理装置の性能確認システムに係わるサブページ C P 3 の構成を示す平面図である。

【符号の説明】

- 1 …高周波電源
- 1 A …給電線
- 2 …マッチングボックス
- 2 A …整合回路
- 3 …給電板
- 4 …プラズマ励起電極（電極：カソード電極）
- 5 …シャワープレート
- 6 …空間
- 7 …孔
- 8 …ウエハサセプタ（対向電極：サセプタ電極）
- 9 …絶縁体

1 0 …チャンバ壁  
1 0 A …チャンバ底部  
1 1 …ベローズ  
1 2 …サセプタシールド  
1 2 A …シールド支持板  
1 2 B …支持筒  
1 3 …シャフト  
1 6 …基板  
1 7 …ガス導入管  
1 7 a, 1 7 b …絶縁体  
2 1 …シャーシ  
2 2 …ロードコンデンサ  
2 3 …コイル  
2 4 …チューニングコンデンサ  
2 5 …整合回路  
2 6 …マッチングボックス  
2 7 …第 2 の高周波電源  
2 7 A …給電線  
2 8 …給電板（高周波電力配電体）  
2 9 …シャーシ  
3 0 …コイル  
3 1 …チューニングコンデンサ  
3 2 …ロードコンデンサ  
6 0 …チャンバ室  
6 1 …インピーダンス測定用端子（共振周波数測定用端子）  
1 0 5 …プローブ  
AN …インピーダンス測定器（共振周波数測定器）  
B …分岐点  
CN …プラズマチャンバ（プラズマ処理室）

P…プラズマ発光領域

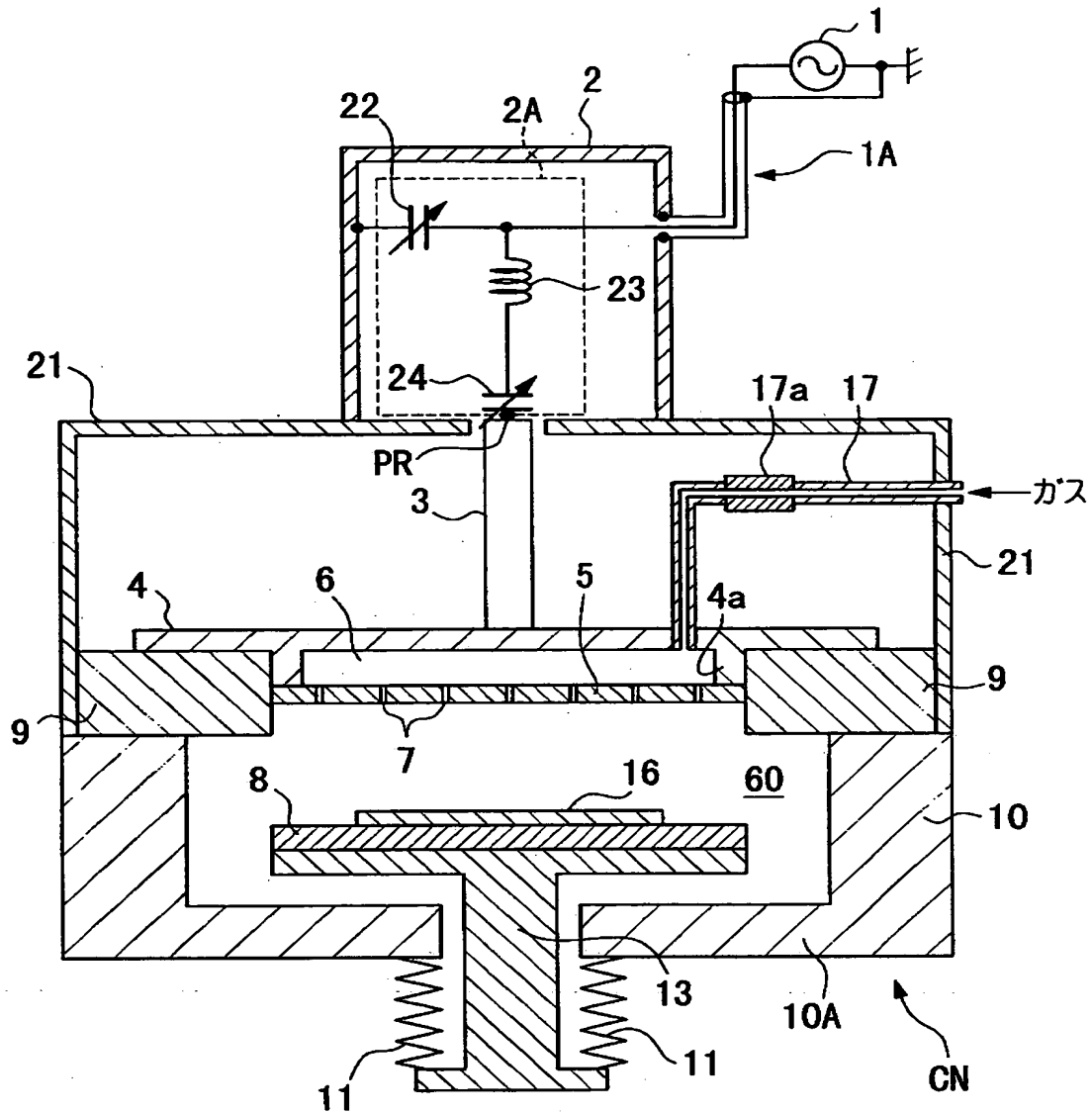
P R, P R' …出力端位置

SW 1, SW 2 …スイッチ

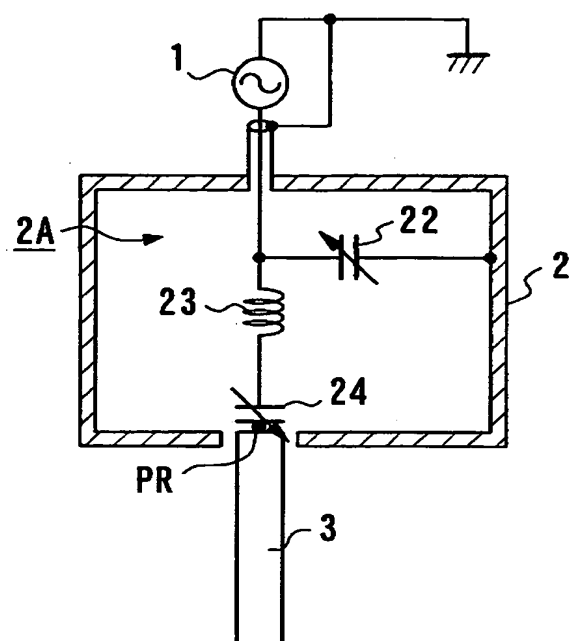


【書類名】 図面

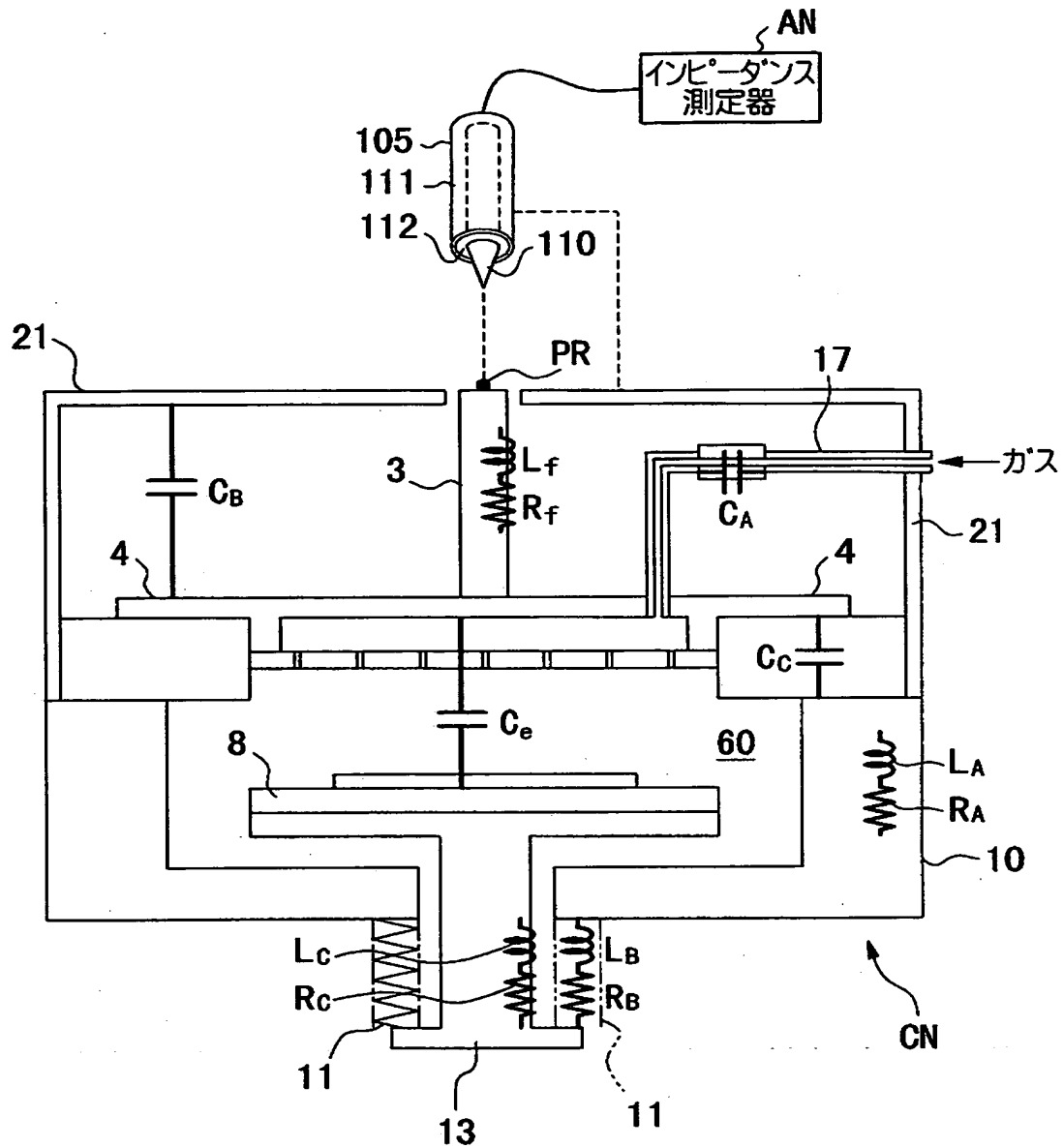
【図 1】



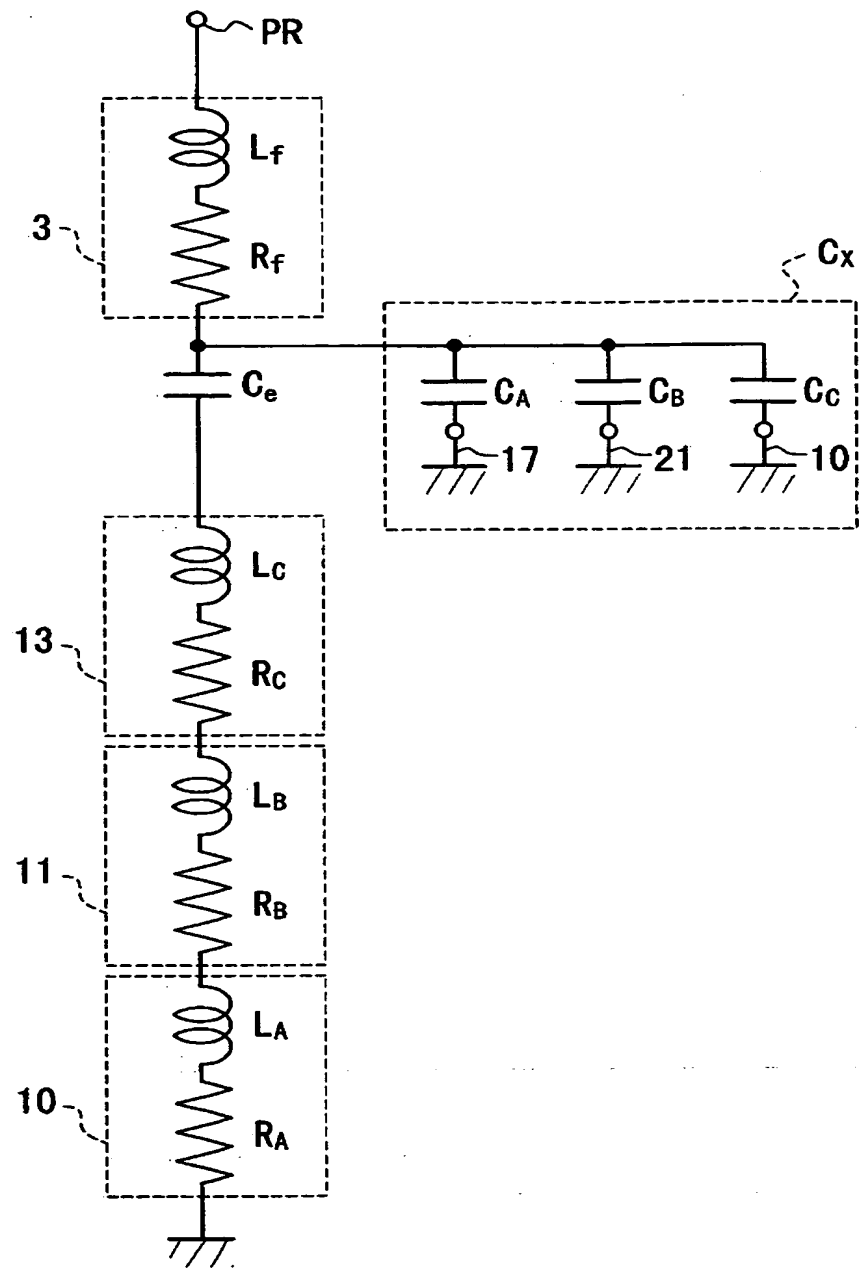
【図 2】



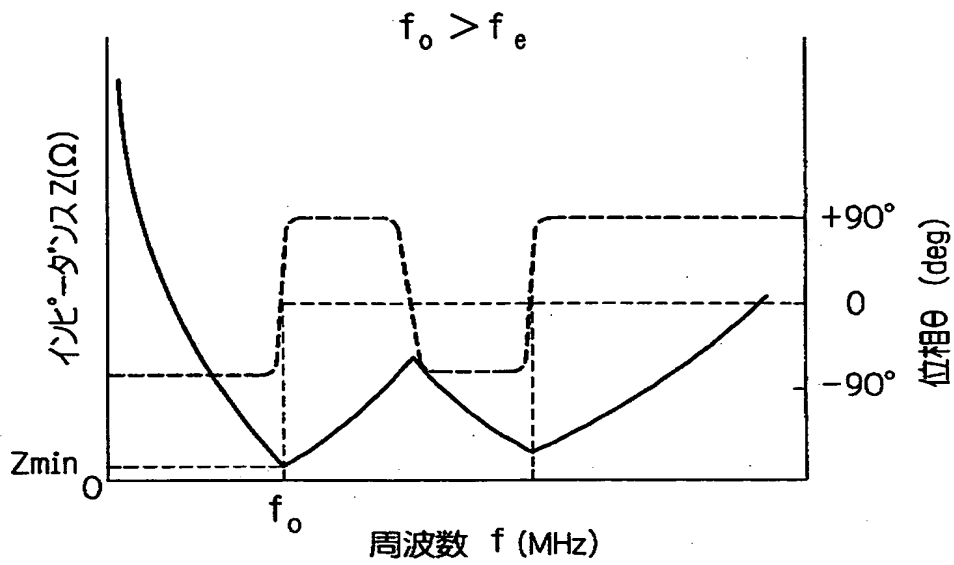
【図3】



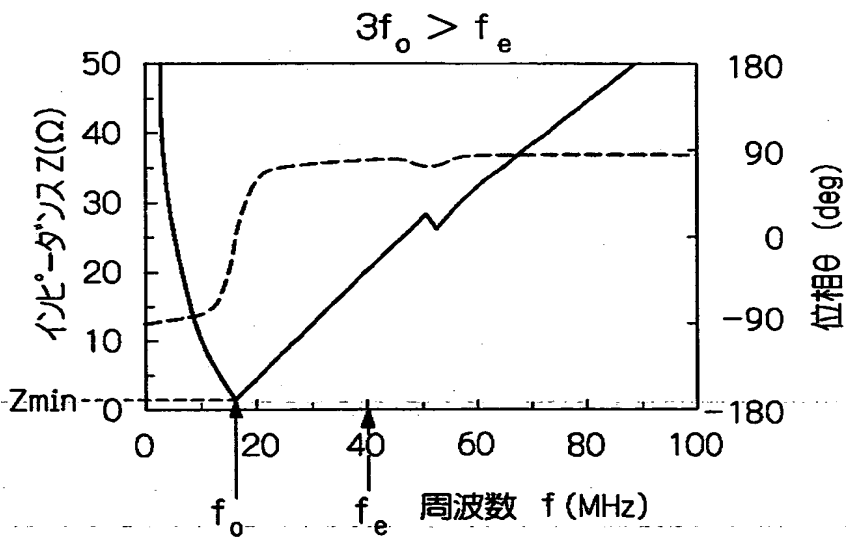
【図 4】



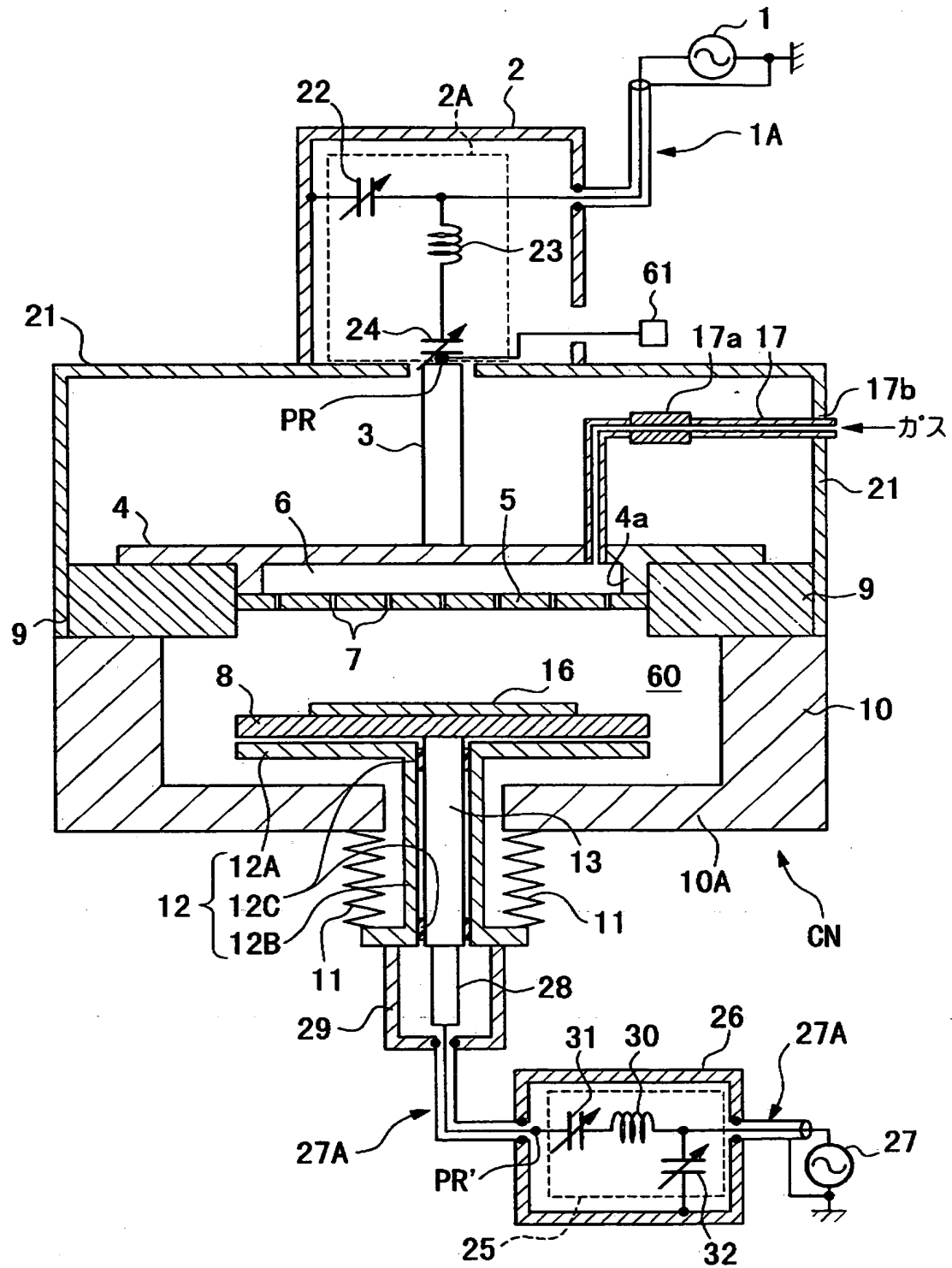
【図 5】



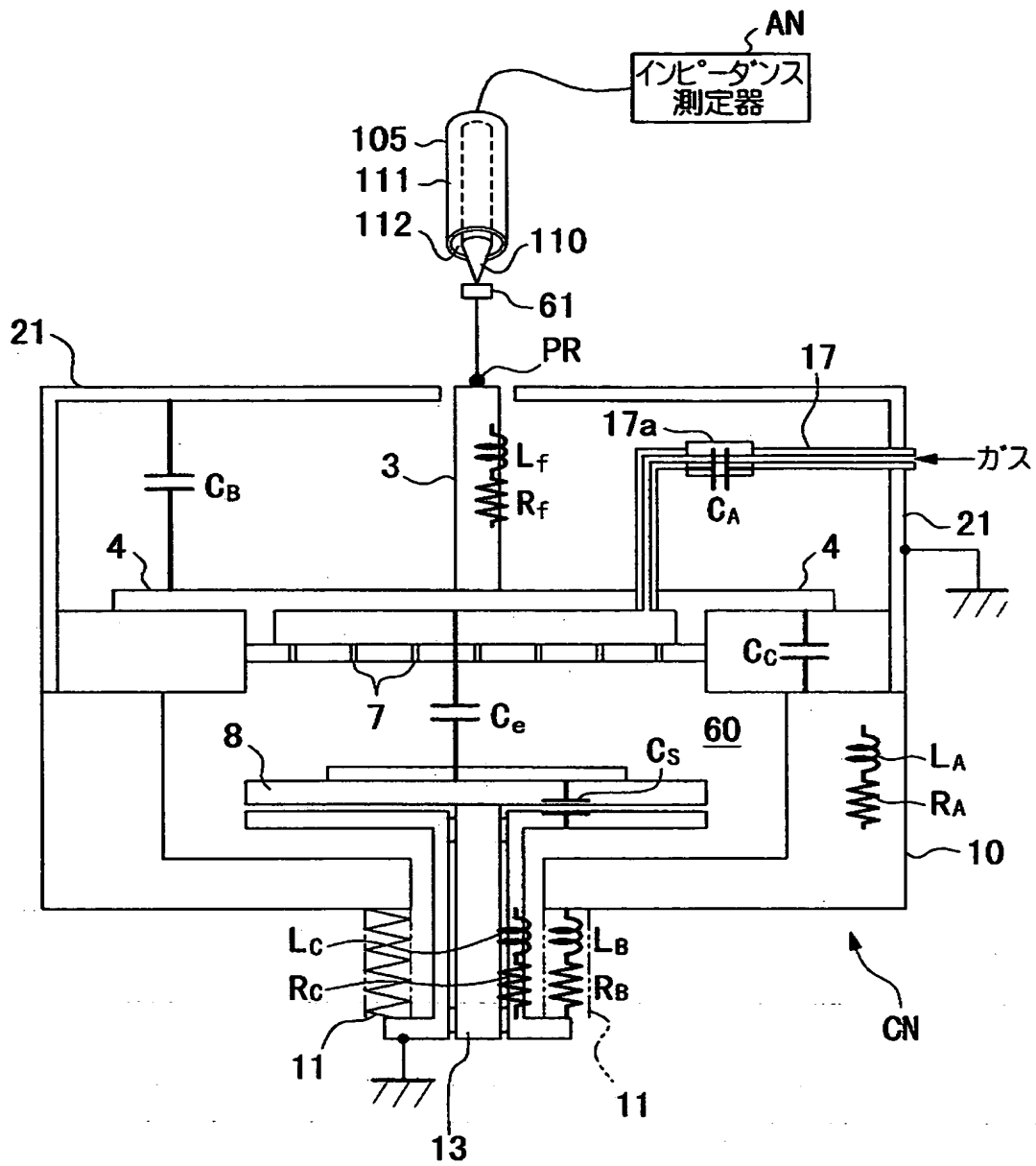
【図 6】



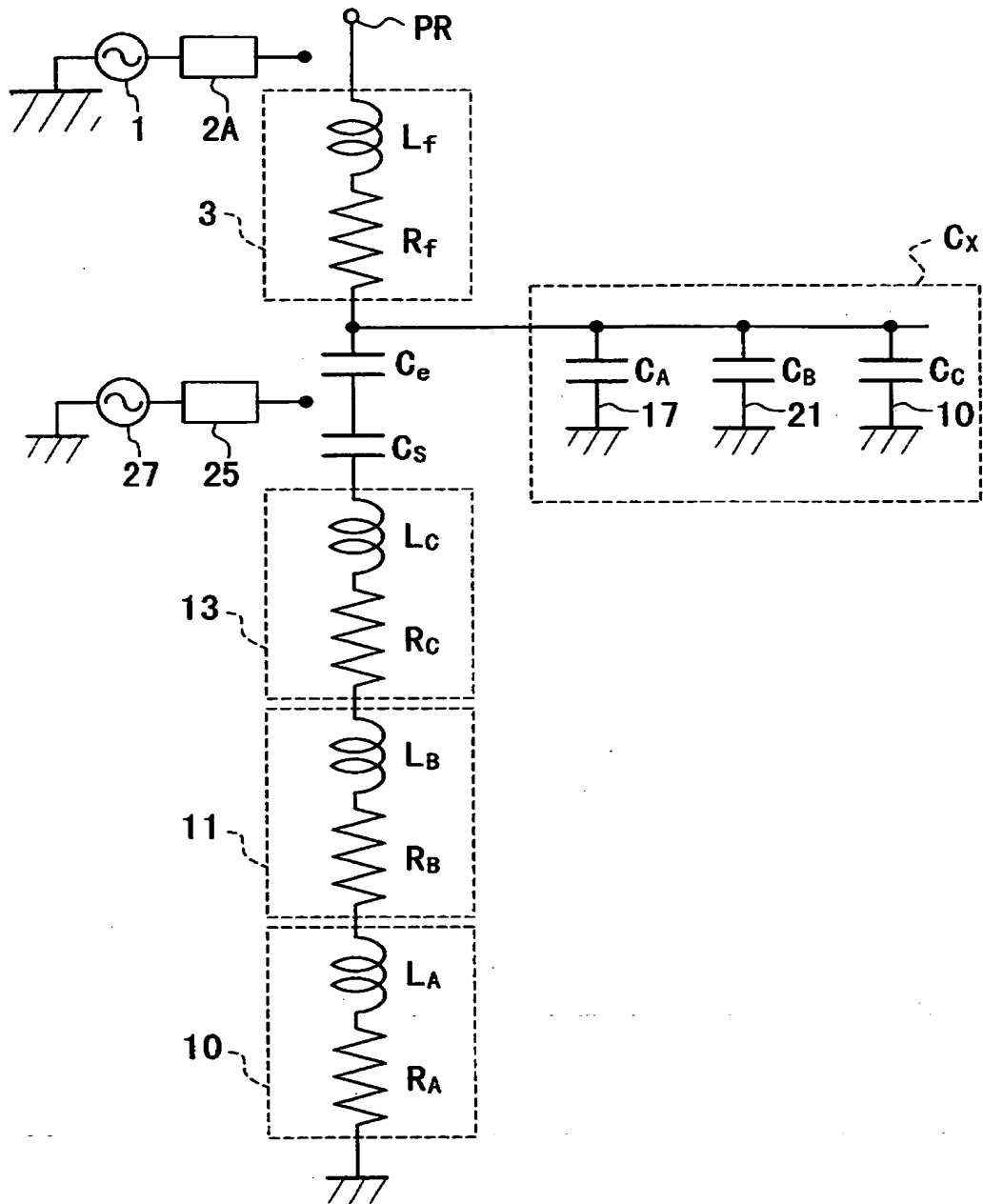
【図 7】



【図 8】

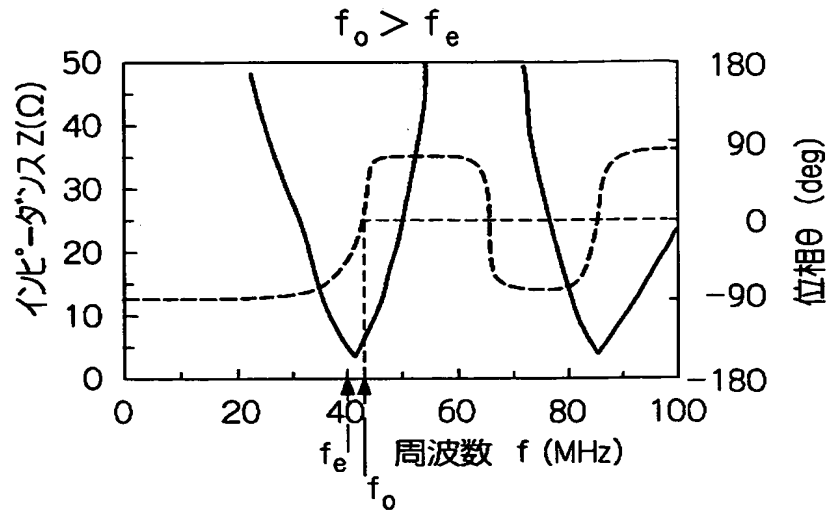


【図 9】

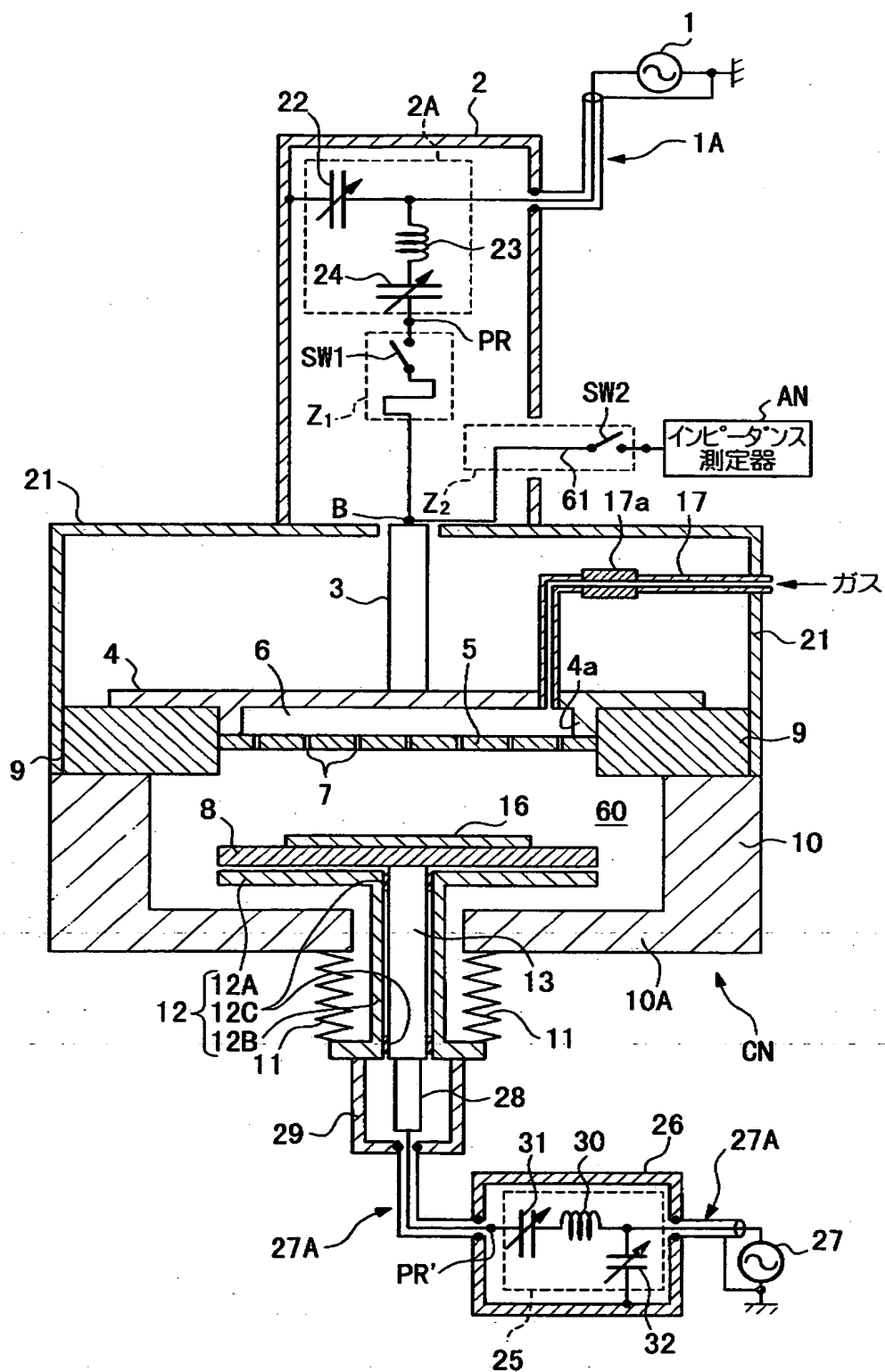




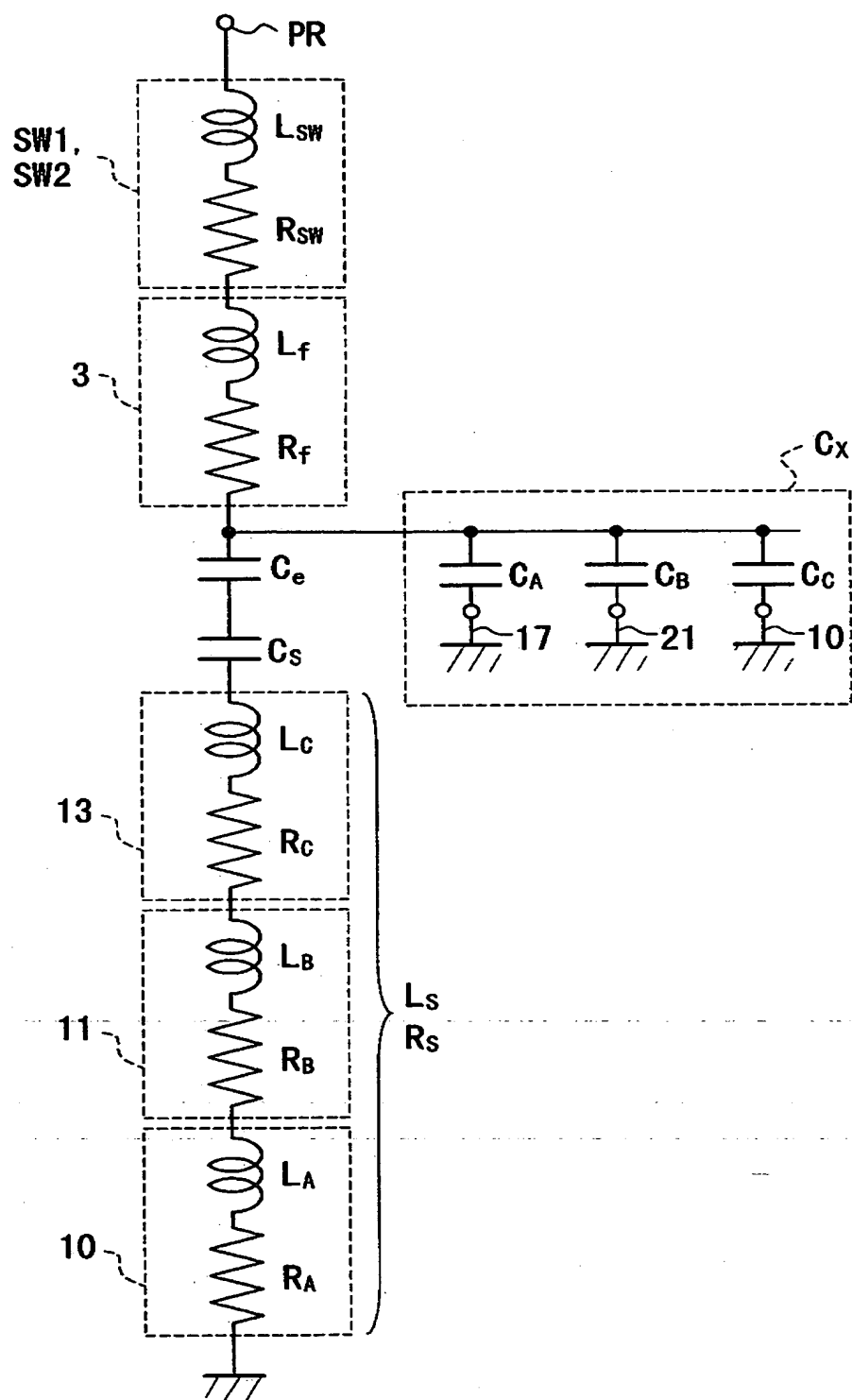
【図 1 0】



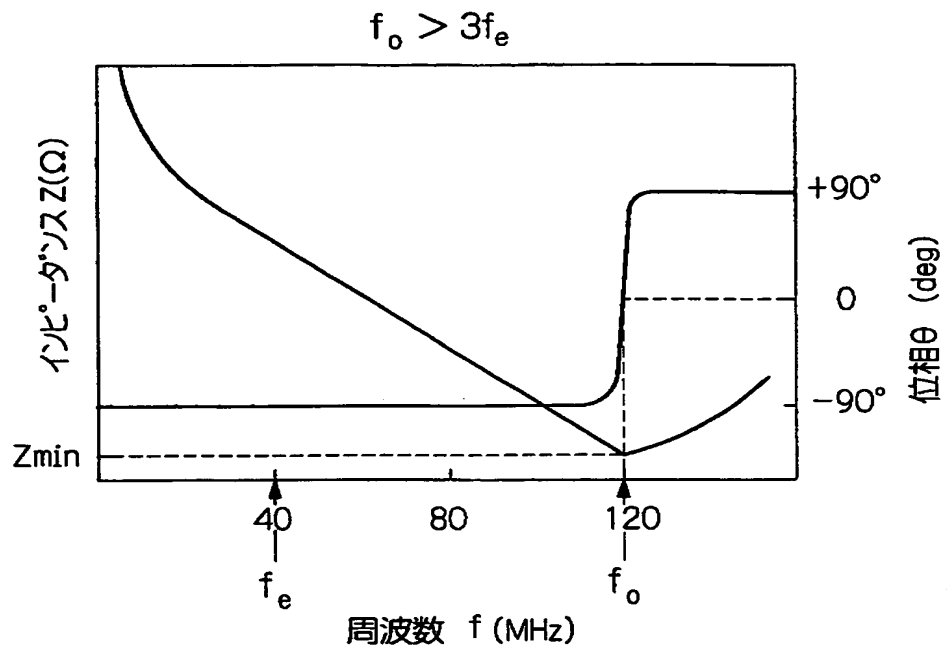
【図11】



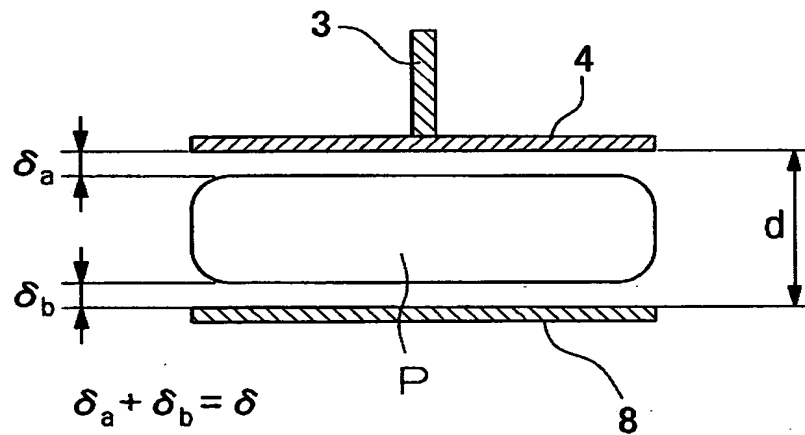
【図12】



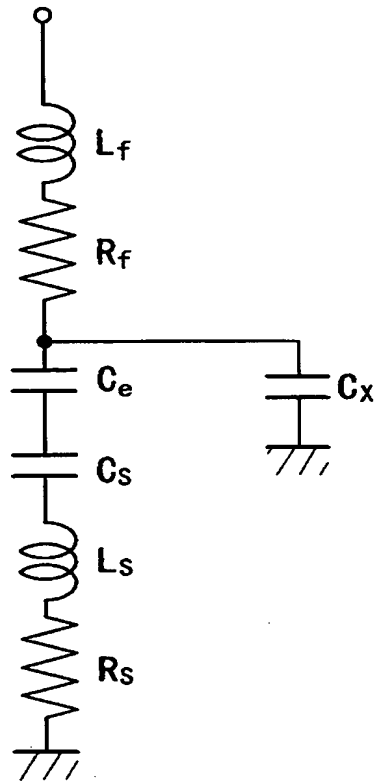
【図 1 3】



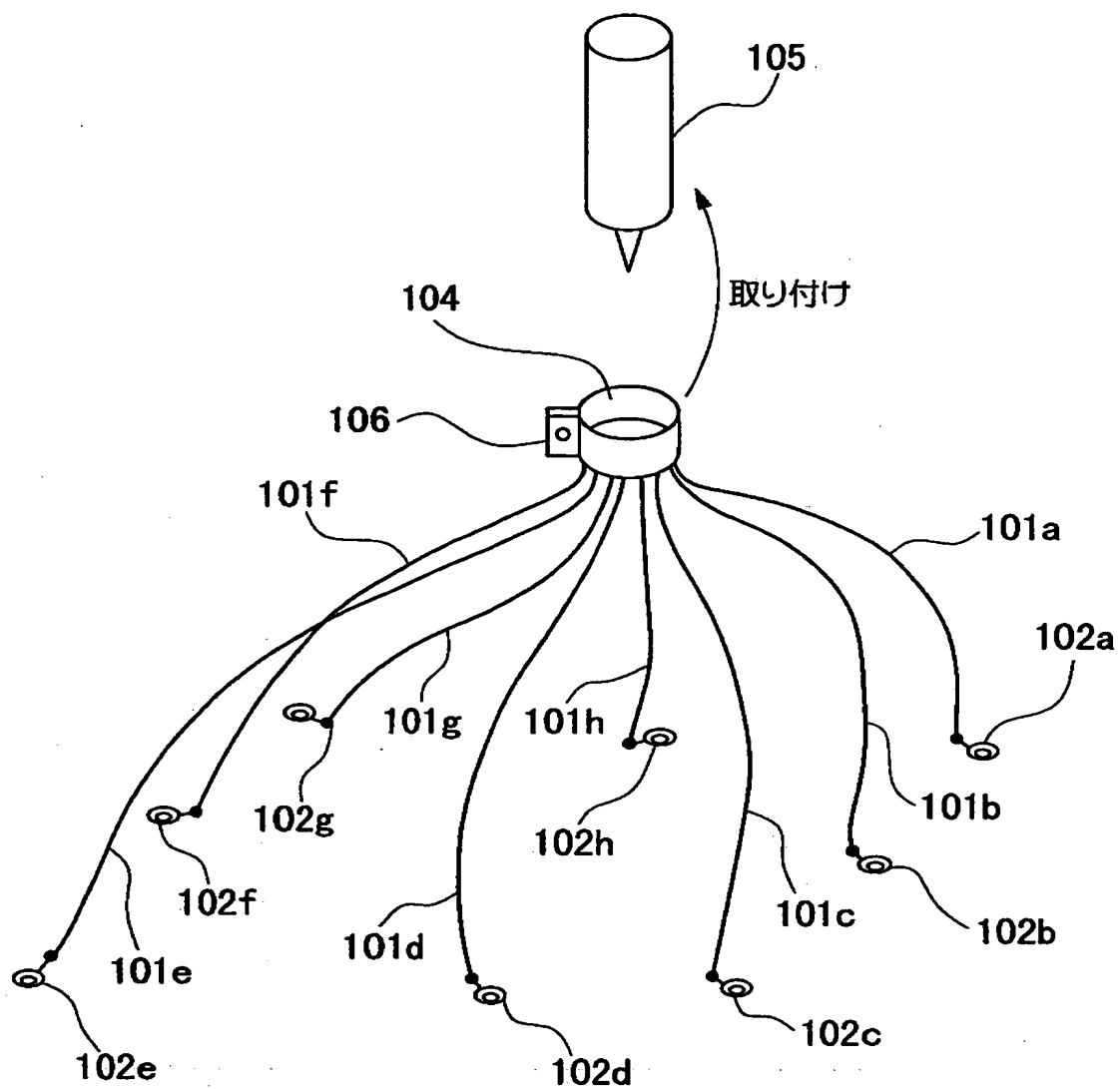
【図 1 4】



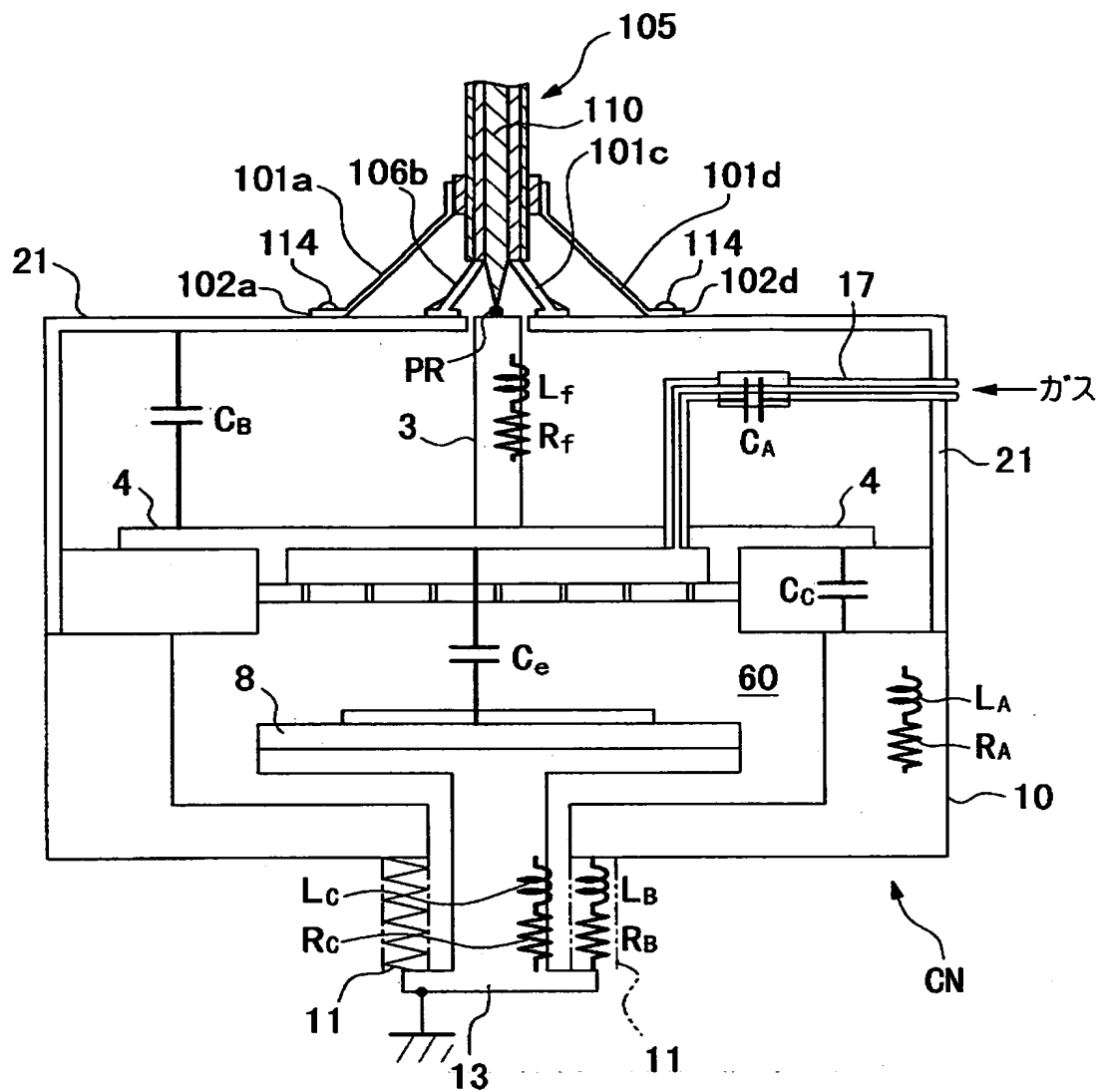
【図 1 5】



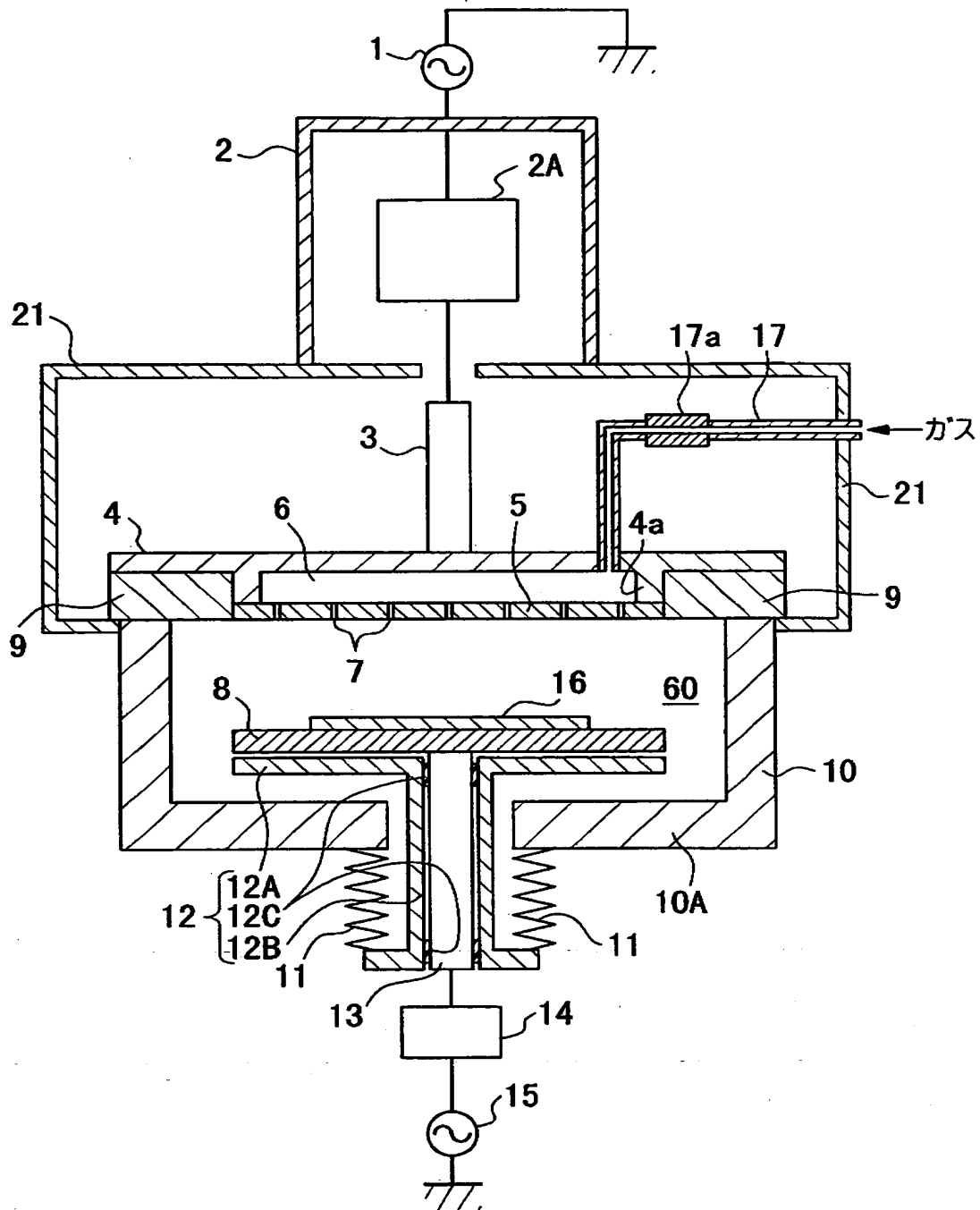
【図 1 6】



【図17】

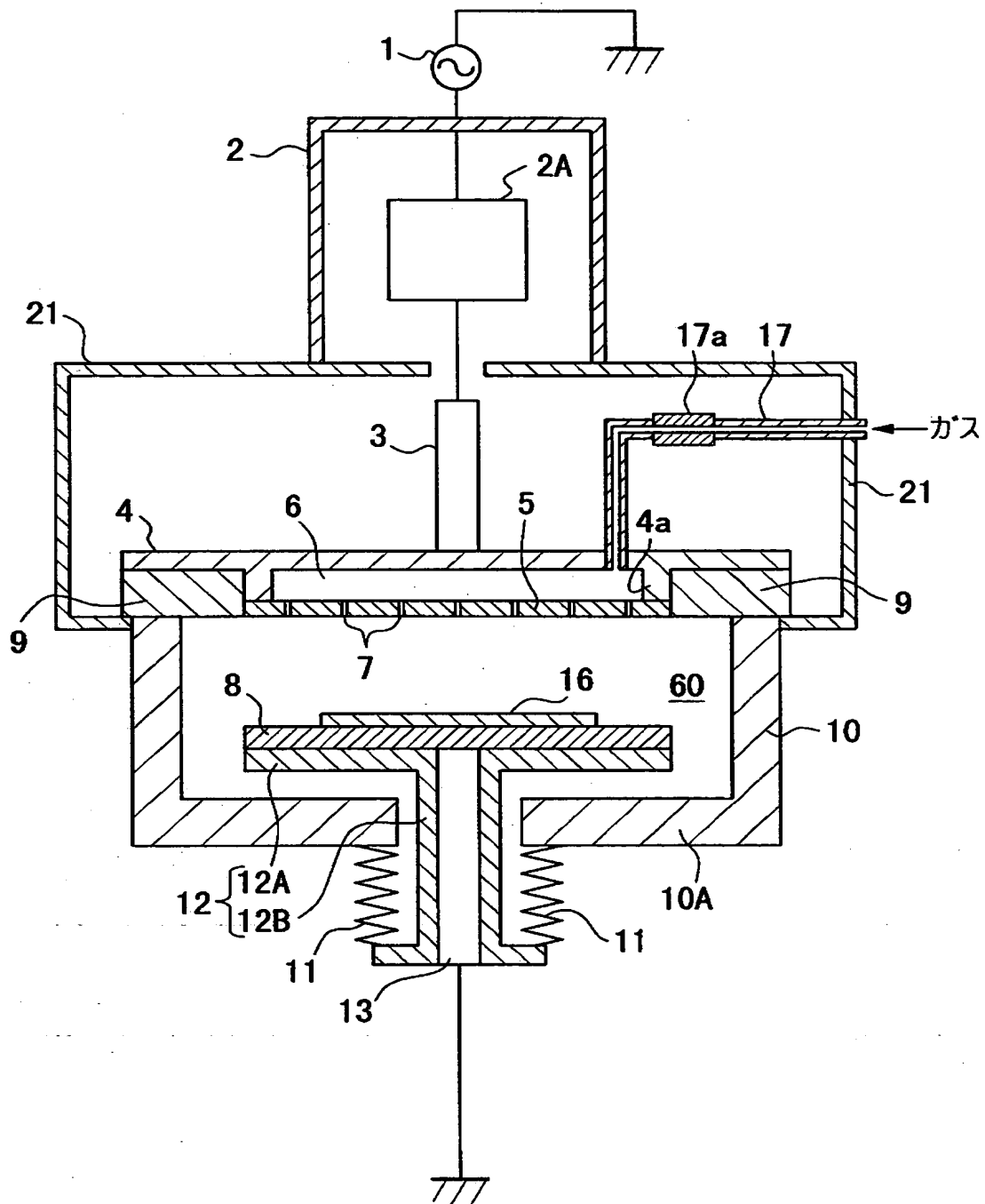


【図18】

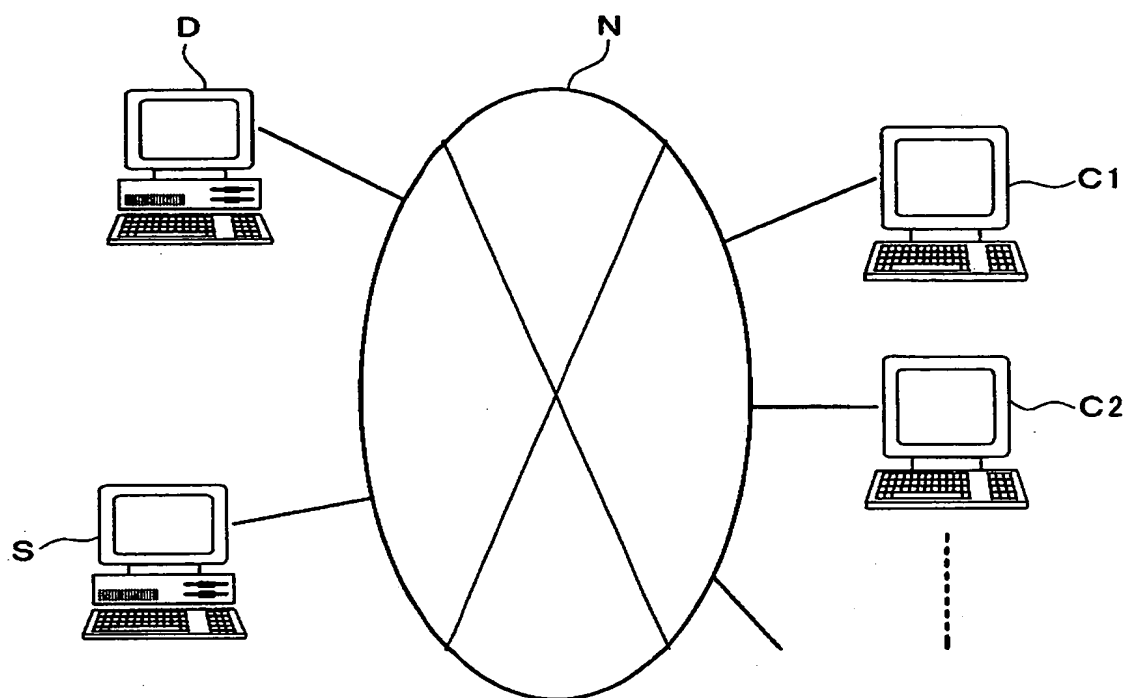




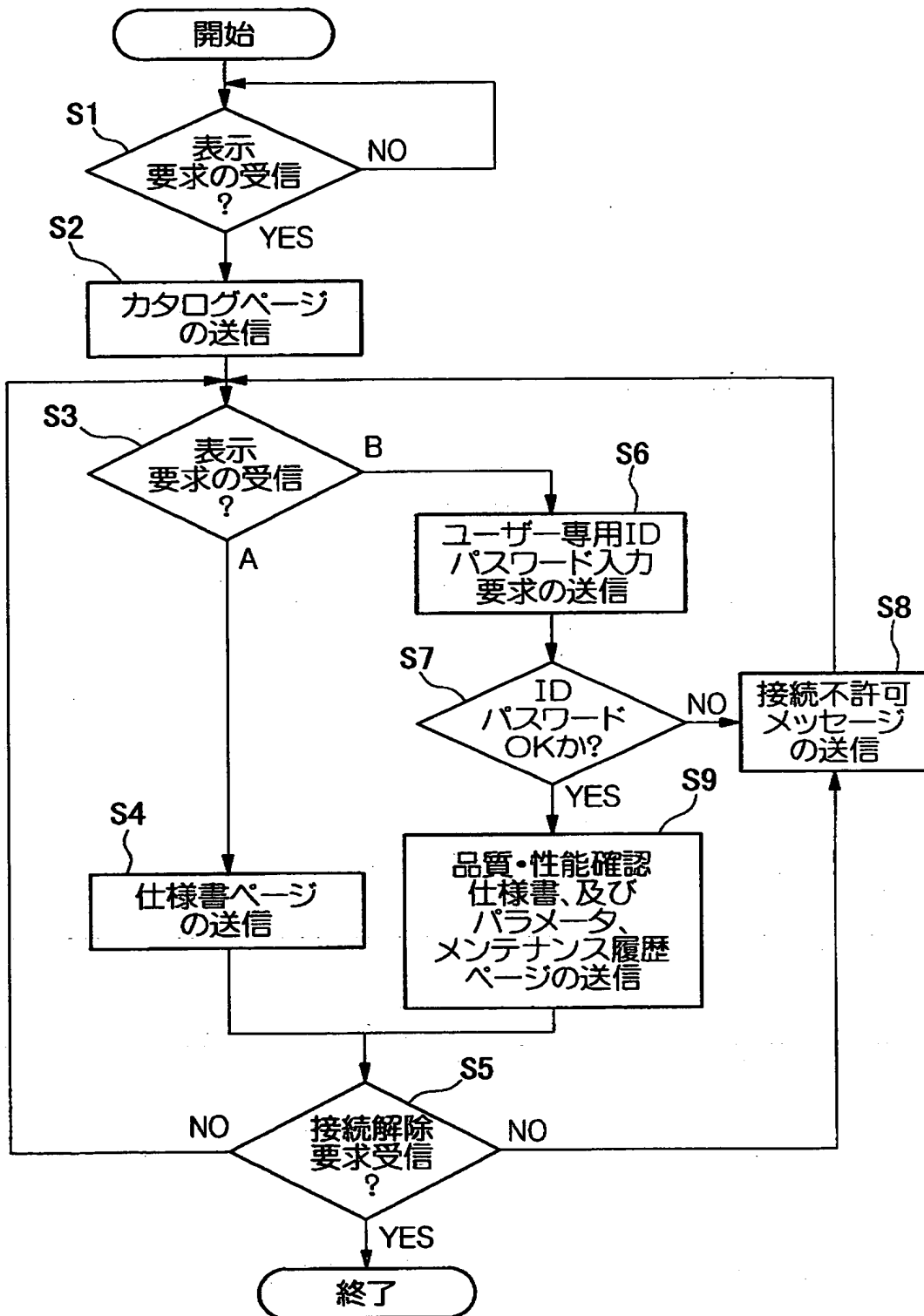
【図19】



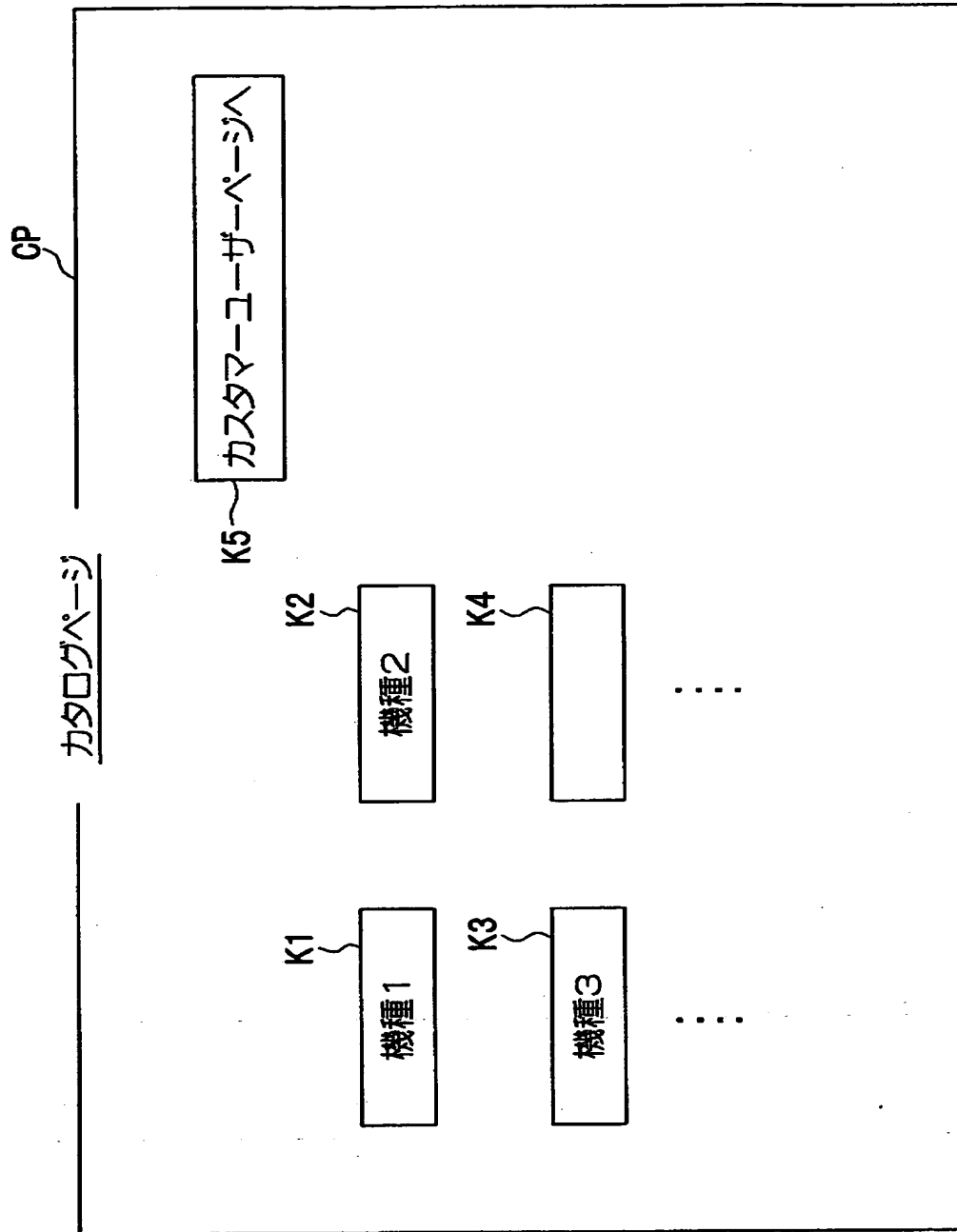
【図20】



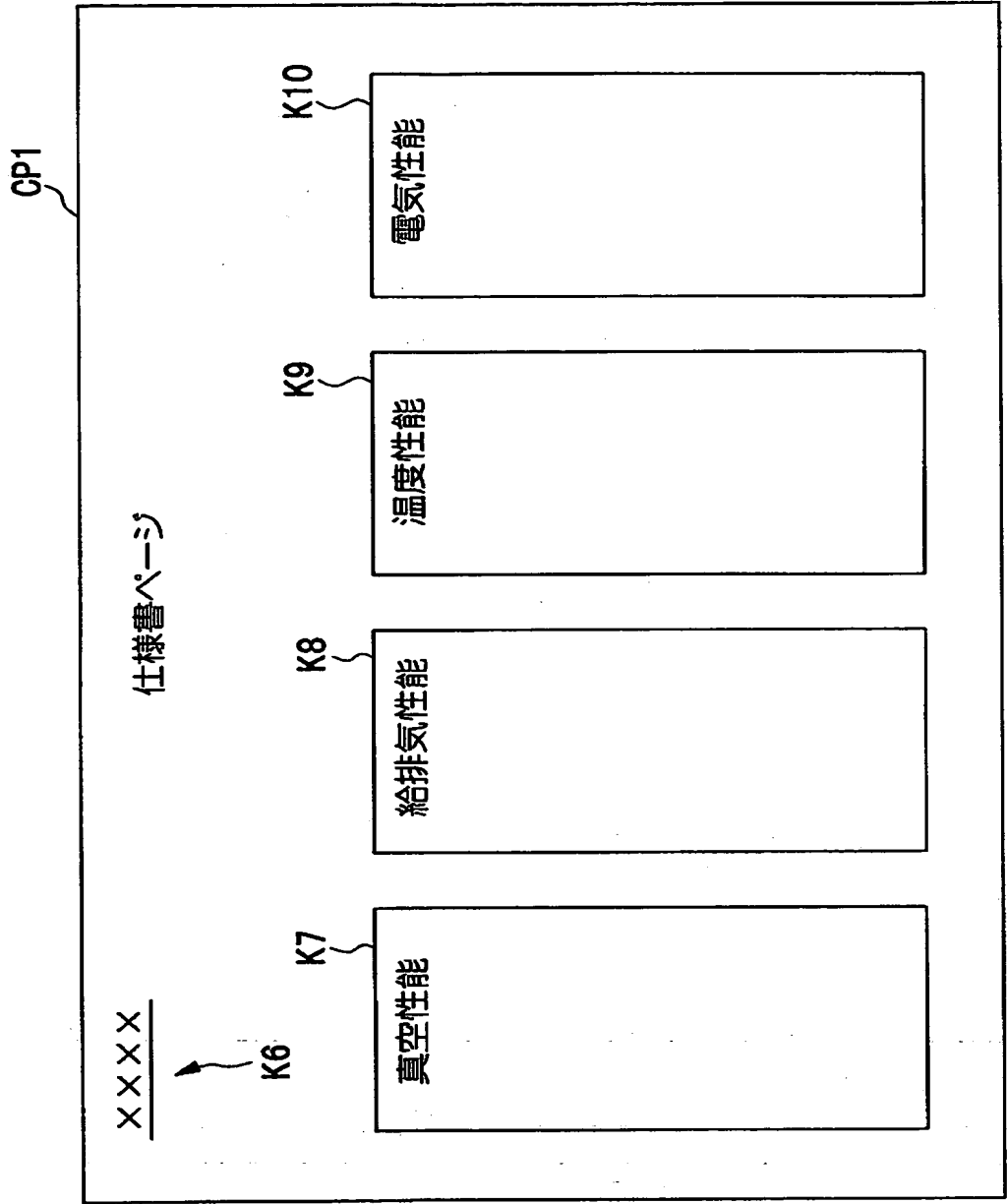
【図 21】



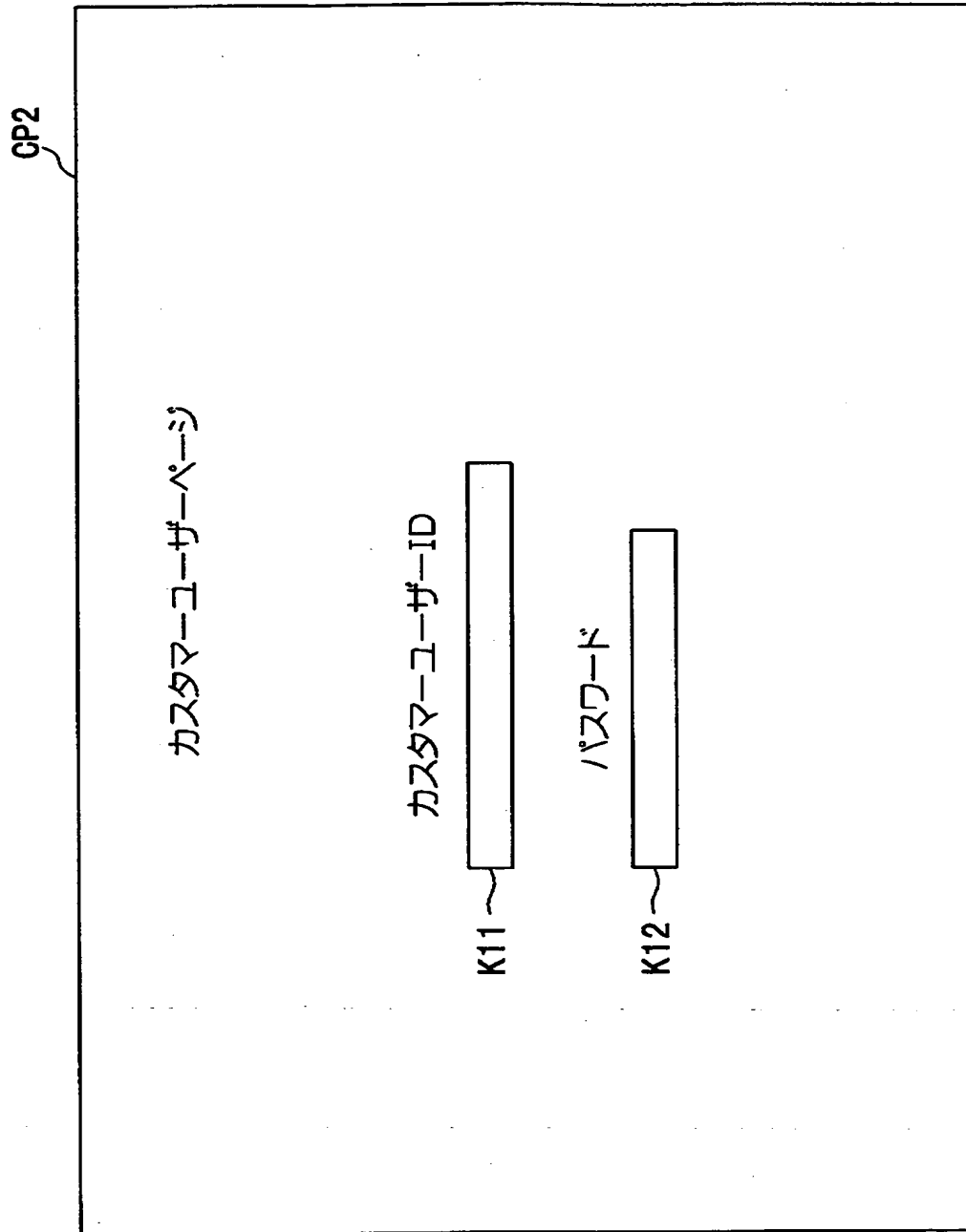
【図 2 2】



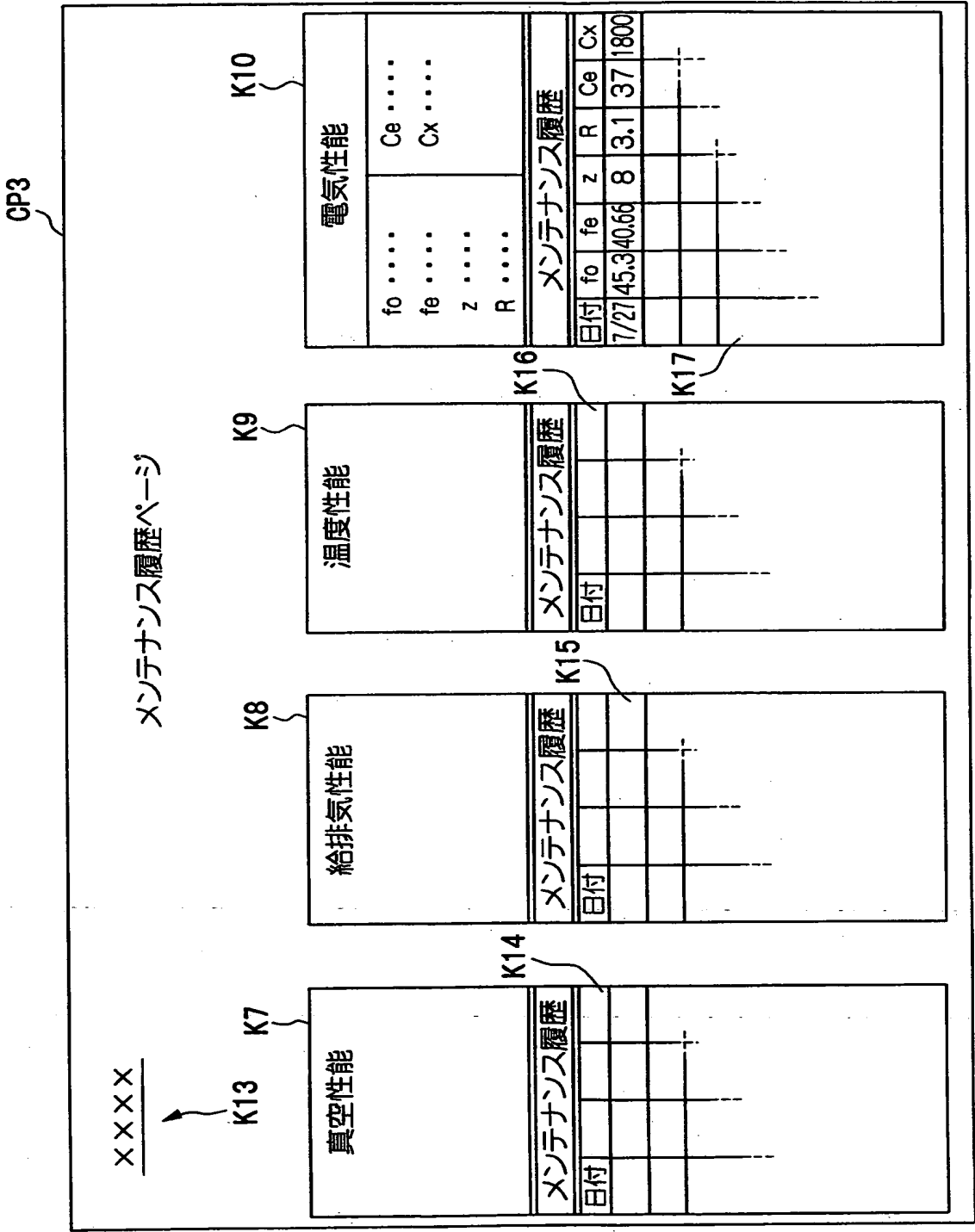
【図 2 3】



【図 2 4】



【図 2 5】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 プラズマ処理をおこなうチャンバ全体としては、電気的高周波的な特性が考慮されていなかった。

【解決手段】 プラズマを励起するための電極を有するプラズマチャンバCNと、この電極4, 8に接続された高周波電源1と、プラズマチャンバCNと高周波電源1とのインピーダンス整合を得るための整合回路2とを具備し、整合回路2Aをその出力端PRから切り離し、給電板3で測定したプラズマチャンバCNの第1直列共振周波数 $f_0$ の3倍が、高周波電源1からプラズマチャンバCNに供給される電力周波数 $f_e$ より大きな値の範囲に設定されてなる。

【選択図】 図1



認定・付加情報

特許出願の番号	特願 2000-245347
受付番号	50001033489
書類名	特許願
担当官	第五担当上席 0094
作成日	平成 12 年 8 月 14 日

<認定情報・付加情報>

【特許出願人】

【識別番号】	000010098
【住所又は居所】	東京都大田区雪谷大塚町 1 番 7 号
【氏名又は名称】	アルプス電気株式会社

【特許出願人】

【識別番号】	000205041
【住所又は居所】	宮城県仙台市青葉区米ヶ袋 2-1-17-301
【氏名又は名称】	大見 忠弘

【代理人】

申請人	
【識別番号】	100064908
【住所又は居所】	東京都新宿区高田馬場 3 丁目 23 番 3 号 ORビ ル 志賀国際特許事務所
【氏名又は名称】	志賀 正武

【選任した代理人】

【識別番号】	100108578
【住所又は居所】	東京都新宿区高田馬場 3 丁目 23 番 3 号 ORビ ル 志賀国際特許事務所
【氏名又は名称】	高橋 詔男

【選任した代理人】

【識別番号】	100089037
【住所又は居所】	東京都新宿区高田馬場 3 丁目 23 番 3 号 ORビ ル 志賀国際特許事務所
【氏名又は名称】	渡邊 隆

【選任した代理人】

【識別番号】	100101465
【住所又は居所】	東京都新宿区高田馬場 3 丁目 23 番 3 号 ORビ ル 志賀国際特許事務所
【氏名又は名称】	青山 正和

次頁有

認定・付加情報（続き）

【選任した代理人】

【識別番号】 100094400

【住所又は居所】 東京都新宿区高田馬場3丁目23番3号 ORビ  
ル 志賀国際特許事務所

【氏名又は名称】 鈴木 三義

【選任した代理人】

【識別番号】 100107836

【住所又は居所】 東京都新宿区高田馬場3丁目23番3号 ORビ  
ル 志賀国際特許事務所

【氏名又は名称】 西 和哉

【選任した代理人】

【識別番号】 100108453

【住所又は居所】 東京都新宿区高田馬場3丁目23番3号 ORビ  
ル 志賀国際特許事務所

【氏名又は名称】 村山 靖彦

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000010098]

1. 変更年月日 1990年 8月27日

[変更理由] 新規登録

住 所 東京都大田区雪谷大塚町1番7号

氏 名 アルプス電気株式会社

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000205041]

1. 変更年月日 1990年 8月27日

[変更理由] 新規登録

住 所 宮城県仙台市青葉区米ヶ袋2-1-17-301

氏 名 大見 忠弘